

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсового проектування

з курсу

«ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧІ УСТАНОВКИ»

(для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво»
спеціальності «Теплогазопостачання і вентиляція»)

ХАРКІВ
ХНАМГ
2013

Методичні вказівки до курсового проектування з курсу «Теплогенеруючі установки» (для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» спеціальності «Теплогазопостачання і вентиляція») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Б. С. Ільченко, В. Г. Котух. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 78 с.

Укладачі: д.т.н., проф. Б. С. Ільченко,
к.т.н., доцент В. Г. Котух

Рецензент: д.т.н., проф. І. І. Капців

Методичні вказівки побудовано за вимогами кредитно-модульної системи організації навчального процесу (КМСОНП).

Рекомендовано кафедрою ЕГТС,
протокол № 16 від 16.11.2012 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	4
1. Зміст курсового проекту	4
2. Завдання до курсового проекту	6
3. Особливості теплового розрахунку котла	6
4. Характеристики парогенераторів, необхідні для теплового розрахунку ..	9
5. Розрахунок продуктів згоряння за газоходами котла	11
6. Розрахунок ентальпій продуктів згоряння за газоходами котла	14
7. Розрахунок теплового балансу котла та витрат палива	19
8. Перевірочний розрахунок топки	19
9. Конструктивний розрахунок пароперегрівника	27
10. Перевірочний розрахунок першого конвективного пучка	28
11. Перевірочний розрахунок другого конвективного пучка	36
12. Конструктивний розрахунок економайзера	42
13. Уточнення балансових величин	48
14. Графік зміни параметрів у котлі	48
Список джерел	48
ДОДАТКИ	51
Додаток А	51
Додаток Б	63

ВСТУП

Тепловий розрахунок парового або водогрійного котла може бути конструктивним або перевірочним. Конструктивний розрахунок виконується при проектуванні або розробці нових парових або водогрійних котлів. Перевірочний розрахунок котельних агрегатів виконується при проектуванні джерела тепlopостачання.

При виконанні курсового проекту рекомендується провести перевірочний розрахунок з елементами конструктивного розрахунку окремих поверхонь нагріву.

Основною метою перевірочного розрахунку є визначення головних показників роботи котлоагрегату.

1. ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Пояснювальна записка складається на аркушах формату А4 (297x210) на одній сторінці. Необхідно дотримуватись таких полів: праворуч - 10 мм, знизу - 20мм, ліворуч – 20мм, зверху – 20мм.

Пояснювальна записка має відповідати змісту.

Розрахункові формули записують у загальному вигляді, далі підставляють числові значення всіх величин, що входять до формули, після чого наводять кінцевий результат розрахунку.

При оформленні курсового проекту студент має дотримуватися розподілу розділів, наведеного в таблиці.

Таблиця 1.1 - Зміст розділів пояснювальної записки

Розділ	Методичні вказівки
1	2
Титульний аркуш	Виконується за загальноприйнятими методиками у ХНАМГ
1. Зміст	Обов'язково зазначаються сторінки розділів
2. Вихідні дані	Заносяться всі вихідні дані для проектування з таблиць 2.1, 2.2 та 2.3. Крім цього, до розділу слід внести додаткові дані, які будуть вибиратися з таблиць, наведених у додатках. Усі дані заносяться з їхнім повним найменуванням, умовними позначеннями та розмірністю
3. Характеристика палива	Елементарний склад палива та його теплота згоряння вибираються за варіантом з таблиць для палива, які наведені в додатках А.6 та А.7. Слід звернути увагу на відсотковий зміст окремих елементів, а також приблизно запам'ятати значення теплоти згоряння палива. Крім цього, бажано навести додаткові відомості про вид палива з підручника

1	2
4. Опис котла	Потрібно навести стислий опис котла, вико рис-товуючи дані конструктивних характеристик з таблиці А.10, а також навести два креслення: план котла та переріз котла (допускається ксерокс-пію). У методичних вказівках котли описані дуже коротко. Для більш повного опису котла слід скористатися рекомендованими джерелами. При описі слід обов'язково наводити конкретні числа, наприклад, площа нагріву, крок труб і т.д., які належать до типу котла. Деякі дані (площа пароперегрівника, економайзера й т.д.) слід внести до цього розділу після завершення розрахунків
5. Розрахунок продуктів згоряння за газоходами котла	Виконати відповідно до розділу 5 цих методичних вказівок
6. Розрахунок ентальпій продуктів згоряння в газоходах котла	Виконати відповідно до розділу 6 цих методичних вказівок
7. Розрахунок теплового балансу котла та витрат палива	Виконати відповідно до розділу 7 цих методичних вказівок
8. Перевірочний розрахунок топки	Виконати відповідно до розділу 8 цих методичних вказівок
9. Конструктивний розрахунок пароперегрівника	Виконати відповідно до розділу 9 цих методичних вказівок
10. Перевірочний розрахунок першого конвективного пучка	Виконати відповідно до розділу 10 цих методичних вказівок
11. Перевірочний розрахунок другого конвективного пучка	Виконати відповідно до розділів 10 та 11 цих методичних вказівок
12. Конструктивний розрахунок економайзера	Виконати відповідно до розділу 12 цих методичних вказівок
13. Уточнення балансових величин	Виконати відповідно до розділу 13 цих методичних вказівок
14. Графік зміни параметрів у котлі	Виконати відповідно до розділу 14 цих методичних вказівок
15. Список джерел	Перелічити джерела, що використовували при виконанні курсового проекту

2. ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Виконати перевірочний розрахунок стаціонарного парового котла середнього тиску з природною циркуляцією.

Вихідні дані для розробки наведені в таблицях 2.1 та 2.2. За таблицею 2.1 за двома останніми цифрами шифру студент вибирає вид палива. Усього видів палива - 25, тому якщо цифра понад 25, то необхідно від двох цифр відняти 25 або число, кратне 25. Наприклад, останні цифри 37, тоді необхідно відняти від $37 - 25 = 12$ і вибрати дванадцятий варіант. А якщо останні цифри 53, тоді віднімаємо $53 - 25 \times 2 = 3$, приймається 3 варіант.

Якщо на потоці дві та більше груп, тоді перша група користується таблицею 2.1 без змін, студенти другої групи – додають до двох останніх цифр шифру - 1, а студенти третьої групи – 2, а студенти четвертої групи – 3, студенти п'ятої групи – 4 і т.д.

Для користування таблицями 2.2 та 2.3 жодних додавань не потрібно.

Наприклад. Група – 4-а. Дві останні цифри шифру – 15. Вибираємо: $15 + 3 = 18$, тобто за варіантом паливом буде природний газ газопроводу Джаркак – Україна, температура перегрітої пари $t_{пп} = 260^{\circ}\text{C}$, температура живильної води $t_{жв} = 90^{\circ}\text{C}$, температура відхідних газів $\vartheta_{відх} = 180^{\circ}\text{C}$. З таблиці 2.3 вибираємо варіант 5 – 16 т/год. Котел ДЕ-16-14.

За таблицями 2.2 та 2.3 студент вибирає тип котла та його паропроодуктивність. Тип котла вибирається за видом палива. Для спалювання твердих видів палива використовують котли КЕ, а для газу і мазуту – ДЕ.

Вибір типу котла здійснюється залежно від виду палива. Якщо за варіантом отримано тверде паливо, тоді вибирається котел КЕ з таблиці 2.2 за останньою цифрою шифру.

Якщо отримано за завданням газоподібне паливо або мазут, то марку котла слід приймати ДЕ з таблиці 2.3.

Тип котла розшифровується так: перша літера К- котел на твердому паливі, Д- котел для газу або мазуту; друга цифра - паропроодуктивність котла у тоннах за годину (т/год); третя цифра – це тиск перегрітої пари на виході з котла, який дорівнює 14 ат (абсолютних) або з точністю 2% - 1,4 МПа. Зразу потрібно помітити, що тиск води та насиченої пари у верхньому барабані котла – 1,6 МПа. Перепад тиску пари у барабані котла та тиску пари на виході : $1,6 - 1,4 = 0,2$ МПа – це гідравлічний опір пароперегрівника.

3. ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВОГО РОЗРАХУНКУ КОТЛА

Котли, які будуть розраховуватись становлять сукупність теплообмінних апаратів, у яких тепло від продуктів згоряння палива передається воді або парі в наступних елементах котла, які відрізняються конструкцією: 1) топка; 2) пароперегрівник; 3) перший конвективний пучок; 4) другий конвективний пучок; 5) економайзер.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані

Дві останні цифри шифру	Паливо	Родовище Басейн Газопровід	Марка вугілля чи мазуту	Температура перегрітої пари, $t_{п}$, °C	Температура живильної води, $t_{жв}$, °C	Температура вхідних газів, °C
1	2	3	4	5	6	7
01	Вугілля	Донецьке	ДР	245	105	190
02	Газ	Гоголево - Полтава		240	105	140
03	Вугілля	Донецьке	Д, відсів	250	100	185
04	Газ	Дашава - Київ		245	100	145
05	Вугілля	Донецьке	Г, Р	255	95	180
06	Газ	Угерське Стрий		250	95	150
07	Мазут	малосірчастий	М-100	245	95	180
08	Газ	Шебелинка - Острогожськ		255	90	155
09	Вугілля	Донецьке	Г, відсів	260	90	175
10	Газ	Шебелинка - Київ		260	85	160
11	Вугілля	Донецьке	ТР	265	85	170
12	Газ	Кумертау - Україна		265	80	165
13	Вугілля	Донецьке	АШ, СШ	270	80	165
14	Газ	Газлі - Україна		240	80	170
15	Мазут	сірчастий	М-40	265	100	160
16	Газ	Хаджи - Україна		250	85	175
17	Вугілля	Донецьке	ПАР, відсів	265	80	160
18	Газ	Джаркак - Україна		260	90	180
19	Газ	Газлі - Україна		245	95	185
20	Газ	Карабурак - Україна		255	100	190
21	Мазут	високосірчастий	М-40	255	105	150
22	Газ	Бухара - Україна		265	105	180
23	Вугілля	Волинське	Б2	260	85	155
24	Газ	Туркменістан - Україна		270	100	170
25	Вугілля	Міжріченське	Б2	250	90	150

Таблиця 2.2 - Котли типу КЕ

Остання цифра шифру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип котла	КЕ-2,5-14	КЕ-4-14	КЕ-6,5-14	КЕ-10-14	КЕ-2,5-14	КЕ-4-14	КЕ-6,5-14	КЕ-10-14	КЕ-6,5-14	КЕ-4-14

Таблиця 2.3 - Котли типу ДЕ

Остання цифра шифру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип котла	ДЕ-2,5-14	ДЕ-4-14	ДЕ-6,5-14	ДЕ-10-14	ДЕ-16-14	ДЕ-16-14	ДЕ-10-14	ДЕ-6,5-14	ДЕ-4-14	ДЕ-2,5-14

Метою розрахунку є визначення основних параметрів роботи котла при спалюванні в ньому різних типів палива. Наприклад, у котлі КЕ-4–14 за завданням може спалюватись дев'ять різних палив. При спалюванні різних палив у котлі одного й того ж типу значно змінюються всі його характеристики та параметри: ККД, теплосприймання топки, температури в газоходах і т. д.

Та сама ситуація й у котлах ДЕ.

У курсовому проекті використовується два види розрахунків: конструктивний (для пароперегрівника й економайзера) та перевірочний (для топки, першого та другого конвективних пучків).

У конструктивному розрахунку, маючи параметри продуктів згоряння, витрати води, пари, продуктів згоряння, їхні температури і т.д., визначаємо площі теплообмінників, а потім кількість труб, рядів і т. д.

У перевірочному розрахунку, якщо відомі площі теплообміну, то визначають кількість переданого тепла та параметри теплоносіїв на вході та виході з цього елемента котла.

Після виконання розрахунків їхні результати подаються у вигляді графіка, побудова якого буде описана нижче.

Усі розрахунки в курсовому проекті необхідно виконувати з точністю до 1 %. Для цього всі числа мають бути представлені з такими значущими цифрами: 0,0126; 0,126; 1,26; 12,6; 126; 1260; 12600.

Навіть, якщо обчислення на калькуляторі мають значення обчислення 12,6485, то в курсовому проекті потрібно заносити значення 12,6 (користуючись правилами округлення). Якщо результат буде дорівнювати 1,26785, то в курсовому проекті потрібно записати 1,27. Якщо результат отримали 126,52, то записуємо у проекті значення 127. Коли за розрахунком маємо значення 12557,4, то тоді слід записати - 12600. Більш високої точності розрахунків цей курсовий проект не потребує. Виключення становлять тільки числа, які наведені в додатках, і для ККД котла.

Зверніть особливу увагу на вибір даних з таблиць у додатку. Багато величин у таблицях наведені не одним числом, а діапазоном чисел від і до. Наприклад, у таблиці А.2 наведені значення коефіцієнта надлишку повітря на виході з топки (α_T'') для природного газу 1,05 ÷ 1,2. Яке значення вибрати?

Спочатку потрібно визначити, який котел “поганий” або “гарний”. Відмітимо, що котли ДЕ та КЕ всі виготовлені якісно, та для курсового проекту потрібно все ж таки визначитись.

У курсовому проекті котлів ДЕ – п'ять різновидів за паропродуктивністю (2,5; 4; 6,5; 10 та 16 т/год). Уважаємо, що ДЕ-16 – “гарний” котел, ДЕ-10 – “близький до гарного”, ДЕ-6,5 – “середній”, ДЕ-4 – “близький до поганого”, а ДЕ-2,5 – “поганий” котел.

Для котлів КЕ в курсовому проекті маємо чотири різновиди за паропродуктивністю (2,5; 4; 6,5 та 10 т/год). Уважаємо, що КЕ-2,5 – “поганий” котел, КЕ-4 – “близький до поганого”, КЕ-6,5 – “близький до гарного”, а КЕ-10 – “гарний” котел.

Тепер потрібно визначитись який визначається параметр “поганий” чи “гарний”.

$\alpha_T^{//}$ - коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки “поганий”, тому що більше значення для “поганого” котла, а менше значення – для “гарного” котла.

Наприклад, цей котел ДЕ-10 (“близький до гарного”), а $\alpha_T^{//} = 1,05 \div 1,20$. “Середнє значення” – 1,125, а “близьке до гарного” – 1,0875. У курсовий проект заносимо результат 1,09 (згідно з прийнятою точністю). Тоді значення $\alpha_T^{//} = 1,09$.

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ, ЯКІ НЕОБХІДНІ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО РОЗРАХУНКУ

Для теплового розрахунку необхідні розрахункові дані, які беруться з таблиці А.10.

На рис. Б.13 – Б.17 наведені креслення котлоагрегатів типів КЕ та ДЕ, що серійно випускаються промисловістю й рекомендуються для курсового проектування.

Принципово конструкції котлів КЕ і ДЕ однакові, а саме в них однакова висота та ширина. Відрізняються вони лише довжиною: більша паропроодуктивність і більша довжина котла. Тому в наведених у курсовому проекті кресленнях котлоагрегату необхідно внести корективи.

Котли КЕ і ДЕ належать до водотрубних парогенераторів горизонтальної орієнтації. Розгортання таких серійних котлів у серію здійснювалось шляхом збільшення розмірів агрегату вздовж поздовжньої вісі та по ширині для збереження висоти. До 1958 року випускалися горизонтально орієнтовані вертикально-водотрубні парогенератори ДКВ Бійського котельного заводу. Із 1960 року випускались ДКВР, поширені у промисловості.

Із 1977 року для спалювання твердих палив замість парогенераторів ДКВР випускаються парогенератори типу КЕ паропроодуктивністю: 2,5; 4; 6,5; 10 т/год. При однаковій компоновальній схемі з агрегатами ДКВР парогенератори КЕ мають менші габаритні розміри, що досягається шляхом зменшення поздовжнього кроку труб конвективного пучка зі 100 до 90 мм. Бокові екрани і труби, що огорожують конвективний пучок, установлюються з кроком $S = 52,5$ мм (зовнішній діаметр труб $d = 51$ мм), що створює практично суцільне екранування стінок топки й конвективного газоходу. Унаслідок цього замість товстої багат шарової обмурівки стінок застосовується ізоляція з плит невеликої товщини (100 мм).

Котли паропроодуктивністю 2,5 – 10 т/год мають подовжений верхній і вкорочений нижній барабан діаметром 1000 мм. Верхній і нижній барабани розміщені на спільній вертикальній осі, їхня довжина змінюється залежно від типорозміру котла.

Передня частина верхнього барабана ізолювана та розміщена над топковою камерою. У водному просторі верхнього барабана розміщені живильні труби і штуцер для безперервної продувки. Пароводна суміш, що створюється в екранних і кип'ятильних трубах, надходить під рівень води у верхньому барабані. Сепарація пари здійснюється в паровому об'ємі барабана й дірчастому листі, установлений на відстані 0,5 м від верхньої твірної барабана, і далі спрямовується в паровід або пароперегрівник.

Парогенератори КЕ мають топки з моноблочною стрічковою ланцюговою решіткою зворотнього ходу і пневмомеханічними закидачами (ТРМЗ). У топкових камерах передбачене гостре дуття, спрямоване в бік фронтної стінки. Це створює умови для зменшення виносу від механічної неповноти згоряння.

Парогенератори КЕ мають задній екран, розміщений перед входом з камери догоряння в конвективні пучки. Котли КЕ з пароперегрівниками мають уніфікований за профілем пароперегрівник, розміщений перед першим пучком конвективної поверхні нагріву. Пароперегрівники виробляються з труб, що мають зовнішній діаметр 32 мм і товщину стінки 3 мм. Пароперегрівники одноходові й не мають пароохолодника.

Усі котлоагрегати серії КЕ обладнані ланцюговими решітками з пневмомеханічними закидачами. Ланцюгові решітки поставляються як один блок, попередньо зібраний і обкатаний на заводі-виробникові. Це підвищило експлуатаційну надійність решітки і зменшило терміни її монтажу.

У парогенераторах серії ДЕ, що призначені для спалювання газу та мазуту, використане нове компонування топки. Вона розміщується праворуч від поверхні нагріву конвективних пучків (при вигляді з фронту) і має глибину, що дорівнює довжині котла. Котли серії ДЕ випускаються паропродуктивністю від 2,5 до 25 т/год. Топкова камера відділена від конвективного пучка глухою мембранною стінкою, виконаною з труб з увареними між ними сталевими проміжними смужками. У курсовому проєкті котел ДЕ-25-14 не розраховується.

В усіх типорозмірах серії від 2,5 до 16 т/год діаметр верхнього й нижнього барабанів - 1000 мм. Довжина циліндричної частини барабанів залежно від продуктивності вимірюється від 2240 мм (котел видатністю 4 т/год) до 7500 мм (котел продуктивністю 16 т/год). У кожному барабані в передньому й задньому днищах установлені лазові затвори, що забезпечують доступ у барабани при ремонті.

Ширина топкової камери всіх котлоагрегатів однакова і становить 1830 мм. Глибина топкової камери парогенераторів серії змінюється від 1980 до 7200 мм. Продукти згоряння з топкової камери через вікно, розміщене ліворуч, спрямовуються до конвективної поверхні нагріву. Вона створена трубами, які поєднують верхній і нижній барабани. У котлі від 2,5 до 10 т/год конвективна поверхня нагріву поділена поздовжньою перегородкою на дві частини. Продукти згоряння в конвективному газоході спочатку прямують від задньої стінки котла до фронтної, а далі повертаються на 180° і спрямовуються у зворотному напрямку. Відведення продуктів згоряння здійснюється з боку задньої стінки через вікно, до якого приєднаний газохід, що спрямовує їх до водяного економайзера.

У верхній частині фронтової стінки встановлені два запобіжних вибухових клапани: один – топкової камери, другий – конвективного газоходу.

У котлах паропродуктивністю 16 т/год конвективний газохід не має поздовжньої перегородки і продукти згоряння за один хід обминають поверхню нагріву, рухаючись від задньої стінки до фронтової. Повертання продуктів згоряння до задньої стінки котла здійснюються уздовж газоходу, розміщеного над топковою камерою, з виводом продуктів згоряння угору. Це сприяє зручному розміщенню водного економайзера.

У котлоагрегатах продуктивністю 2,5 , 4 та 6,5 т/год для доступу в топку є спеціальні лази, а в котлах 10 та 16 т/год проникнути до топки можна тільки через отвори газомазутних пальників.

В усіх котлах серій КЕ та ДЕ передбачене східчасте випарювання. До другого східця випарювання виділена частина труб конвективного пучка. Загальною опускною лапкою є останні (за рухом продуктів згоряння) труби конвективного пучка. Опускні труби другого східця винесені за межі газоходу.

На котлах ДЕ продуктивністю від 2,5 до 16 т/год використовуються пальники типу ГМГ.

Більш детальний опис котлів можна знайти у джерелах [2,3,4,5].

5. РОЗРАХУНОК ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПО ГАЗОХОДАХ КОТЛА

Продукти згоряння утворюються в топці котла при спаленні палива. Для згоряння палива в топці дуттьовим вентилятором подається повітря. Потрібно відрізнити такі витрати повітря:

- теоретично необхідна кількість повітря для спалення 1 кг твердого чи рідкого або 1 нм^3 газоподібного палива, визначається стехіометричними показниками хімічних реакцій горіння. Позначається V^o , $\text{нм}^3/\text{кг}$ (нм^3);
- дійсна кількість повітря - V_d , $\text{нм}^3/\text{кг}$ (нм^3).

У топку завжди подається повітря більше ніж V^o для того, щоб паливо гарантовано спалювалось.

Відношення $\frac{V_d}{V^o} = \alpha$ є коефіцієнтом надлишку повітря.

Якщо який-небудь параметр у розрахунках береться на вході до якого-небудь елемента котла, то він записується з поміткою “/”, а якщо на виході з елемента, то позначається поміткою “//”.

Наприклад: α'_{mn} - коефіцієнт надлишку повітря на вході до пароперегрівника, α''_{Ikn} - коефіцієнт надлишку повітря на виході з другого конвективного пучка. α_{Ikn} - коефіцієнт надлишку повітря в середині першого конвективного пучка.

У реальних котлах намагаються не подавати до топки багато повітря (а саме завищувати α'_T) тому, що чим більше повітря, тим більше продуктів згоряння та тим більше втрати тепла з відхідними газами.

Для котлів ДЕ α_T'' вибирається з таблиці А.2, а для котлів КЕ – з таблиці А.3. Приклад вибору наводиться в розділі 3.

Газоходи котла завжди мають знаходитись під малим розрідженням. Тому через нещільності котла до всіх елементів підсмоктується повітря. Його кількість враховується величиною $\Delta \alpha$. Ця величина - “погана” величина, тому для “гарного” котла слід брати найменше значення цієї величини. Для решти потрібно приймати так, як описано в розділі 3.

Наприклад: для котла КЕ-10 виписуємо такі значення з таблиць А.2 та А.4:

$$\alpha_T'' = 1,20; \Delta \alpha_T = 0,1; \Delta \alpha_{nn} = 0,02; \Delta \alpha_{Ikn} = 0,04; \Delta \alpha_{IIkn} = 0,08; \Delta \alpha_{ек} = 0,07.$$

Усі ці дані заносимо до розділу додаткових вихідних даних (розділ 2).

Крім того, з таблиці А.1 виписуємо для палива, яке отримане за завданням, наступні характеристики:

V^o – теоретично необхідна кількість повітря для спалення 1кг (нм³) палива, нм³/ кг (нм³);

V_{RO_2} - об'єм триатомних газів, що утворилися, нм³/ кг (нм³);

$V_{N_2}^o$ - теоретичний об'єм азоту в продуктах згоряння, нм³/ кг (нм³);

$V_{H_2O}^o$ - теоретичний об'єм водяної пари в продуктах згоряння, нм³/ кг (нм³).

Їх також потрібно занести до розділу 2 “Вихідні дані”.

$V_{\Gamma}^o = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o$ - теоретичний об'єм усіх продуктів згоряння, нм³/ кг(нм³).

При виписуванні даних потрібно перевірити останнє рівняння. Сума може відрізнятись від табличного значення V_{Γ}^o не більше ніж на 0,01. У випадку більшої розбіжності для розрахунків потрібно залишити сумарне значення. У випадку дуже великої розбіжності потрібно звернутися за допомогою до викладача.

Також з таблиці А.2 виписується значення частки золи, яка виноситься продуктами згоряння - $a_{вин}$ (величина безрозмірна).

Для мазуту $a_{вин} = 1$. Для газу $a_{вин} = 0$.

Розраховуємо значення коефіцієнта надлишку повітря (α) у різних елементах котла. Для розрахунків зручно скористатися елементарною розрахунковою схемою (рис. 5.1).

Вихідні дані: α_T'' та $\Delta \alpha_T, \Delta \alpha_{nn}, \Delta \alpha_{Ikn}, \Delta \alpha_{IIkn}, \Delta \alpha_{ек}$.

$$\underline{\alpha_T} = \alpha_T'' - \frac{\Delta \alpha_T}{2}$$

$$\underline{\alpha_{nn}} = \alpha_{nn}' + \frac{\Delta \alpha_{nn}}{2}$$

$$\alpha_{nn}'' = \alpha_{nn}' + \Delta \alpha_{nn} = \alpha_{Ikn}'$$

$$\underline{\alpha_{Ikn}} = \alpha_{Ikn}' + \frac{\Delta \alpha_{Ikn}}{2}$$

$$\alpha_{Ikn}'' = \alpha_{Ikn}' + \Delta \alpha_{Ikn} = \alpha_{IIkn}'$$

$$\underline{\alpha_{IIkn}} = \alpha_{IIkn}' + \frac{\Delta \alpha_{IIkn}}{2}$$

$$\alpha_{IIkn}'' = \alpha_{IIkn}' + \Delta \alpha_{IIkn}$$

$$\alpha_{ек}'' = \alpha_{відх} = \alpha_{ек}' + \Delta \alpha_{ек}$$

Для наступних розрахунків необхідно прийняти підкреслені значення.

Потім послідовно виконуємо розрахунок для кожного елемента котла.

Результати заносяться до таблиці 5.1.

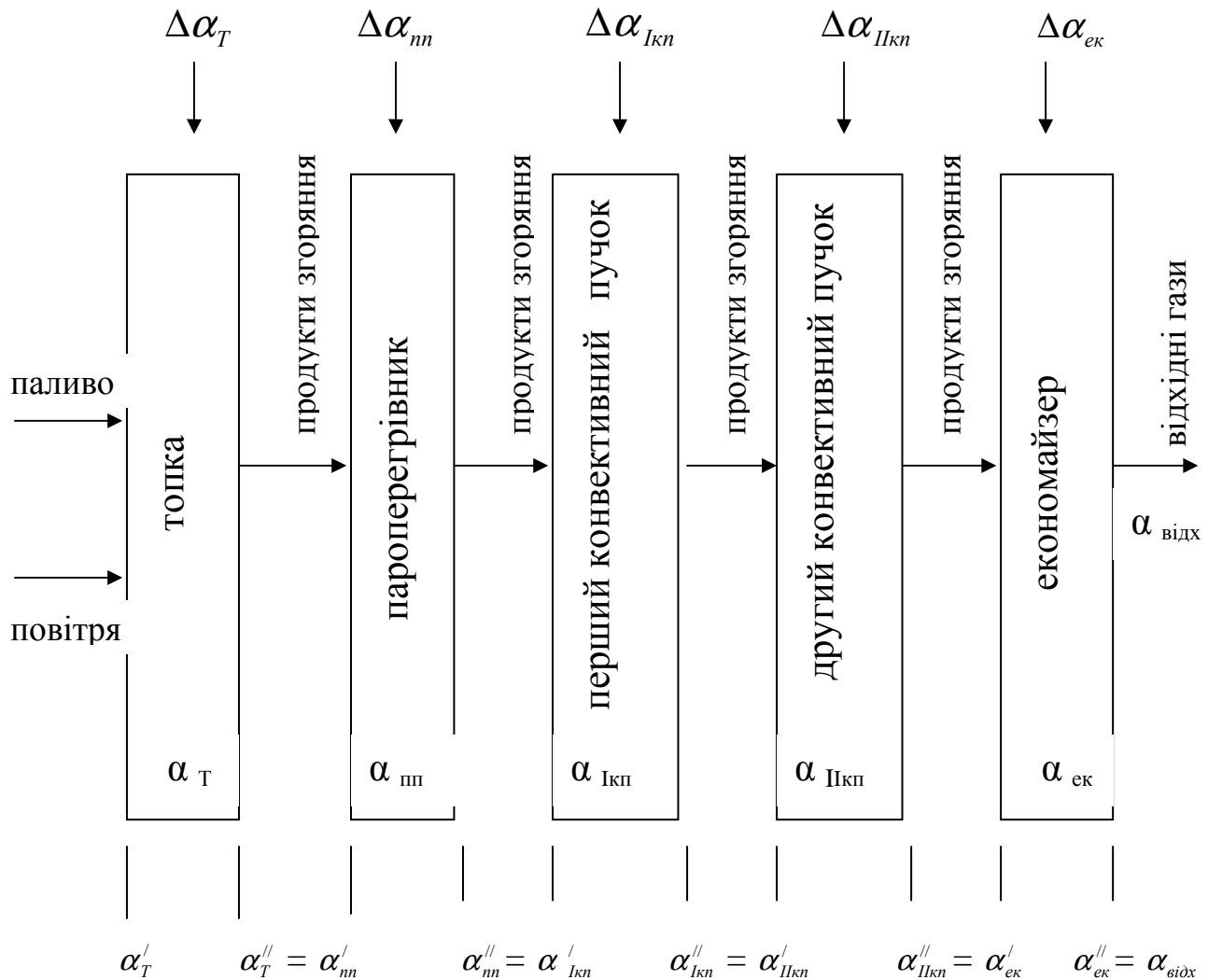


Рис. 5.1 - Розрахункова схема зміни коефіцієнтів надлишку повітря в елементах котла

Приклад підрахунку для топки:

$$V_{R_2} = V_{N_2}^o + (\alpha - 1) V^o = 4,11 + (1,1 - 1) 5,19 = 4,629 = 4,63 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,016 (\alpha - 1) V^o = 0,60 + 0,016 (1,1 - 1) 5,19 = 0,608304 = 0,608 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O} = 0,94 + 4,63 + 0,608 = 6,178 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

І так до пункту 11 згідно з формулами в таблиці 5.1.

Для пароперегрівника, першого та другого конвективних пучків і економайзера наводити обчислення в записці не обов'язково. Можна записати так: результати розрахунків для решти елементів котла заносяться до таблиці 5.1.

Пункти 8 ÷ 11 для газоподібного палива не розраховуються.

6. РОЗРАХУНОК ЕНТАЛЬПІЙ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ЗА ГАЗОХОДАМИ КОТЛА

Ентальпії продуктів згоряння розраховуються на 1кг (або нм^3) палива та свідчать про кількість тепла, яке знаходиться в усьому об'ємі продуктів згоряння, які отримані при згорянні 1кг (або нм^3) палива.

З урахуванням того, що коефіцієнт надлишку повітря за газоходами котла збільшується завдяки присосам повітря, а разом з повітрям, яке присмоктується, до продуктів згоряння додається певна кількість тепла, то це тепло потрібно обчислювати при розрахунках.

Крім того, для твердих видів палива потрібно враховувати ще й ентальпію золи.

Розрахунок потрібно проводити в табличній формі (за зразком таблиці 6.1) у такій послідовності:

- 1) з таблиці А.7 виписуємо для типу палива значення I_e^o в $\text{кДж/кг(нм}^3\text{)}$ – ентальпію теоретичної кількості повітря, яка потрібна для спалення 1кг (або нм^3) палива, розраховану для температур від 100°C до 2000°C ;
- 2) з таблиці А.8 виписуємо для типу палива значення I_r^o у $\text{кДж/кг(нм}^3\text{)}$ – ентальпію теоретичної кількості продуктів згоряння (при $\alpha = 1$) при спаленні 1кг (або нм^3) палива, розраховану для температур від 100°C до 2000°C ;
- 3) у таблиці 6.1 вже наведені значення добутку ($c \cdot \vartheta_{zl}$) для температур від 100°C до 2000°C (частки золи мають місце тільки у продуктах згоряння твердого палива, тому для мазуту та газу стовпчик з цими значеннями з таблиці потрібно буде виключити);
- 4) тільки для твердого палива розраховуємо I_{zl} за формулою в таблиці, де A^p - зольність палива у % та $a_{вин}$ - частка золи з таблиці А.2;
- 5) всі значення ентальпій при 0°C дорівнюють нулю;
- 6) заносимо у таблицю значення коефіцієнтів надлишку повітря для кожного газоходу котла ($\alpha_T, \alpha_{nn}, \alpha_{Ikn}, \alpha_{Ikn}, \alpha_{ek}$), які вже підраховані в таблиці 5.1;
- 7) підраховуємо ентальпію продуктів згоряння при розрахункових коефіцієнтах надлишку повітря за газоходами котла за формулою в таблиці 6.1 для значень температур, які позначені хрестиком “Х” (потрібно пам'ятати, що для газу та мазуту $I_{zl} = 0$);
- 8) п'ять прикладів розрахунку з підставленими реальними цифрами у формули потрібно навести в записці, а решту результатів одразу можна занести до таблиці 6.1.

Таблиця 5.1 - Результати розрахунку складу продуктів згоряння по газоходах котла

№	Величина	Розмірність	Топка	Паропере- грівник	Перший конвективний пучок	Другий конвектив- ний пучок	Економайзер
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Розрахунковий коефіцієнт надлишку повітря в газоході		α_T	α_{nn}	α_{Ikn}	α_{Ikn}	α_{ek}
2	Дійсний об'єм двоатомних газів $V_{R_2} = V_{N_2}^o + (\alpha - 1)V^o$	нм ³ /кг * (нм ³ /нм ³)					
3	Дійсний об'єм водяної пари $V_{H_2O} = V_{H_2O}^o +$ $+ 0,0161(\alpha - 1)V^o$	нм ³ /кг (нм ³ /нм ³)					
4	Сумарний дійсний об'єм димових газів при $\alpha > 1$ $V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{R_2} +$ $+ V_{H_2O}$	нм ³ /кг (нм ³ /нм ³)					
5	Об'ємна частка триатомних газів $r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}}$						

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
6	Об'ємна частка водної пари $r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Gamma}}$						
7	Загальна об'ємна частка триатомних газів і водної пари $r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$						
8	Концентрація золи в димових газах $\mu = \frac{10A^p a_{вин}}{V_{\Gamma}}$	г/м ³					
9	Зведена величина виносу золи з топки $a_{вин}^{звед} = \frac{A^p a_{вин}}{Q_n^p}$	$\frac{\% \text{ кг}}{\text{кДж}}$					
10	Зведена вологість $W_n = \frac{W^p}{Q_n^p}$	$\frac{\% \text{ кг}}{\text{кДж}}$					
11	Зведена зольність $A^n = \frac{A^p}{Q_n^p}$	$\frac{\% \text{ кг}}{\text{кДж}}$					

Примітка. * розмірність приймається для твердого палива та мазуту – нм³/кг, а для газу – нм³/нм³.

Таблиця 6.1 - Результати розрахунку ентальпій (тепловмісту) продуктів згоряння за газоходами котла

Температура	Ентальпія продуктів згоряння при $\alpha = 1$	Ентальпія повітря при $\alpha = 1$	Питома ентальпія золи	Ентальпія золи	Ентальпія продуктів згоряння при розрахункових коефіцієнтах надлишку повітря по газоходах котла				
					Топка	Пароперегрівник	Перший конвективний пучок	Другий конвективний пучок	Економізер
	I_{Γ}^o	I_{ϵ}^o	$c \vartheta_{3л}$	$I_{3л} = \frac{c \vartheta_{3л} A^p a_{вин}}{100}$	$\alpha_T =$	$\alpha_{nn} =$	$\alpha_{Ikn} =$	$\alpha_{IIkn} =$	$\alpha_{ек} =$
$^{\circ}\text{C}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	кДж/кг або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100			90						X
200			180					X	X
300			275				X	X	X
400			370				X	X	X
500			460				X	X	

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
600			561				X	X	
700			663				X		
800			768		X	X	X		
900			874		X	X	X		
1000			984		X	X	X		
1100			1096		X	X			
1200			1206		X	X			
1300			1360		X				
1400			1571		X				
1500			1758		X				
1600			1830		X				
1700			2066		X				
1800			2184		X				
1900			2385		X				
2000			2512		X				

Примітка. Ентальпії підраховують в газоходах тільки в межах температур, що позначені хрестиками.

7. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ КОТЛА ТА ВИТРАТ ПАЛИВА

Коефіцієнт корисної дії котла є важливою характеристикою котлоагрегату. У цьому курсовому проекті він визначається на базі теплового балансу, а саме від 100 % віднімається сума теплових втрат.

Суму теплових втрат і ККД котла потрібно розрахувати з точністю до 0,01 % (наприклад, ККД дорівнює 89,36 %). Решту розрахунків потрібно здійснювати з точністю до 1%, про що було зазначено на початку методичних вказівок.

Для газу та мазуту $B = B_p$.

Розрахунки можна виконувати й у табличній формі (таблиця 7.1). При здійсненні розрахунків обов'язково після наведення формули (у стовпчику 5) потрібно підставити (у стовпчику 6) числові значення, а тільки потім навести результат розрахунку.

8. ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТОПКИ

Топка – це найтеплонапруженіший елемент котла. У топці одночасно здійснюються процеси згоряння палива й інтенсивний процес тепловіддачі від продуктів згоряння до труб (екранів), які розташовані на стінках топки. В екранних трубах здійснюється процес випаровування води (а саме кипіння) та утворення пари. Цей процес відбувається при постійній температурі (відповідно, тиску в барабані котла $P_B = 1,6$ МПа).

Основною метою розрахунку топки є визначення температури продуктів згоряння на виході з топки та визначення кількості теплоти, яку екрани топки відібрали від продуктів згоряння.

Пропонується розрахунок виконувати в табличній формі. Форма розрахунку наведена в таблиці 8.1.

Самостійно запишіть спочатку мету розрахунку, а після виконання розрахунку - короткі висновки.

Таблиця 7.1 - Розрахунок теплового балансу котла та витрат палива

Мета розрахунку: (записується самостійно).

№	Найменування	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула або спосіб визначення та пояснення	Розрахунок
1	2	3	4	5	6
1	Наявна теплота палива	$Q_{ня}^p$	кДж/кг або кДж нмЗ	$Q_{н}^p + i_{nl} *$ (пояснення див. у кінці таблиці)	
2	Утрати теплоти від хімічної неповноти згоряння палива	q_3	%	табл. А.2 та А.3	
3	Утрати теплоти від механічного недопалу	q_4	%	табл. А.2 та А.3 для газу та мазуту $q_4=0$	
4	Температура відхідних газів	$\vartheta_{відх}$	°С	за завданням	
5	Ентальпія відхідних газів	$I_{відх}$	кДж/кг або кДж нмЗ	За табл. 6.1 знайти $I_{відх}$ у стовпчику для економайзера для $\vartheta_{відх}$ методом інтерполювання. Розрахунок інтерполювання представити у стовпчику 6	
6	Ентальпія холодного повітря	$I_{хп}^o$	кДж/кг або кДж нмЗ	Приймаємо при $t_{хп} = 30^o$ $I_{хп}^o = 39,8 \cdot V^o$	
7	Утрати теплоти з відхідними газами	q_2	%	$\frac{(I_{відх} - \alpha_{відх} I_{хп}^o)(100 - q_4)}{Q_{ня}^p}$ (це за величиною найбільші втрати)	

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5	6
7	Утрати теплоти з відхідними газами	q_2	%	$\frac{(I_{\text{вих}} - \alpha_{\text{вих}} I_{\text{хп}}^o)(100 - q_4)}{Q_{\text{ня}}^p}$ (це за величиною найбільші втрати)	
8	Утрати теплоти в навколишнє середовище	q_5	%	Знайти за рис. Б.1 залежно від паропроодуктивності котла	
9	Утрати теплоти з фізичною теплою шлаків	$q_{\text{шил}}^{**}$	%	$\frac{a_{\text{шил}}(c\vartheta)_{\text{шил}} A^p}{Q_{\text{ня}}^p}$ (для газу та мазуту $q_{\text{шил}} = 0$)	
10	Сума теплових втрат	$\sum q$	%	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_{\text{шил}}$	
11	ККД парогенератора	$\eta_{\text{ПГ}}$	%	$100 - \sum q$ (це найголовніша характеристика котла)	
12	Коефіцієнт збереження теплоти	ϕ	-	$1 - \frac{q_5}{\eta_{\text{ПГ}} + q_5}$	
13	Продуктивність котлоагрегату	D	кг/с	Переведіть з т/год у кг/с	
14	Тиск пари в барабані	P_B	МПа	1,6 МПа	
15	Температура перегрітої пари	$t_{\text{пн}}$	°С	за завданням	
16	Температура живильної води	$t_{\text{жв}}$	°С	за завданням	
17	Питома ентальпія перегрітої пари	$i_{\text{пн}}$	кДж/кг	За таблицею А.9 за $t_{\text{пн}}$ і тиском перегрітої пари на виході з котла 1,4 МПа	
18	Питома ентальпія живильної води	$i_{\text{жв}}$	кДж/кг	За таблицею А.9 за $t_{\text{жв}}$ і тиском у барабані $P_B = 1,6$ МПа	
19	Питома ентальпія води при температурі кипіння та тиску в барабані	$i_{\text{кип}}$	кДж/кг	За табл. А.9 (тиск у барабані $P_B = 1,6$ МПа)	

1	2	3	4	5	6
20	Значення продукції	P	%	$P = 3 \div 7$ Продукція – відведення соляної води з котла, яка виражається у % від видатності котла	
21	Корисно використовується тепло в агрегаті	$Q_{\text{ПГ}}$	кВт	$D(i_{\text{нт}} - i_{\text{жсв}}) + D \frac{P}{100} (i_{\text{кит}} - i_{\text{жсв}})$	
22	Повна витрата палива	B	кг/с або м ³ /с	$\frac{Q_{\text{ПГ}} 100}{Q_{\text{ня}} \eta_{\text{ПГ}}}$ Дуже важливий показник	
23	Розрахункова витрата палива	B_p	кг/с або м ³ /с	$B \frac{100 - q_4}{100}$	

Примітки: * фізична теплота палива приймається до уваги тільки при підігріванні мазуту

$$i_{\text{пл}} = i_{\text{м}} = c_{\text{м}} t_{\text{м}};$$

$$c_{\text{м}} = 1,74 + 0,0025 t_{\text{м}}; (t_{\text{м}} = 120 \div 130^{\circ} \text{C});$$

$$** a_{\text{шл}} = 1 - a_{\text{вин}};$$

$\vartheta_{\text{шл}}$ - температура шлаків при сухому шлаковидаленні, приймається $\vartheta_{\text{шл}} = 600^{\circ}\text{C}$;

$$(c \vartheta)_{\text{шл}} = 562 \text{ кДж/кг.}$$

Для газу та мазуту не розраховується. Після проведення розрахунків необхідно зробити невеликий висновок про отримані результати (самостійно).

Таблиця 8.1 -Розрахунок топки

Мета розрахунку:

№	Найменування	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула або спосіб визначення та пояснення	Розра - хунок
1	2	3	4	5	6
1	Повна променесприймальна поверхня топки	H_{np}	m^2	За конструктивними характеристиками виписуємо з табл. А.10 для свого типу котла (для котлів типу КЕ це чисельник, а для котлів типу ДЕ – знаменник)	
2	Об'єм топкової камери	V_T	m^3	За конструктивними характеристиками виписуємо з табл. А.10 для свого типу котла (для котлів типу КЕ це чисельник, а для котлів типу ДЕ – знаменник)	
3	Повна поверхня стін топки	F_{cm}	m^2	За конструктивними характеристиками виписуємо з табл. А.10 для свого типу котла (для котлів типу КЕ це чисельник, а для котлів типу ДЕ – знаменник)	
4	Площа дзеркала горіння	R	m^2	За конструктивними характеристиками виписуємо з табл. А.10 для свого типу котла (для котлів типу КЕ це чисельник, а для котлів типу ДЕ – знаменник)	
5	Теплова напруга об'єму топки:				
	розрахункова	q_v	$\frac{кВт}{м^3}$	$\frac{B_p Q_n^p}{V_T}$	
	нормативна (допустима)	q_v	$\frac{кВт}{м^3}$	За конструктивними характеристиками топок за таблицями А.2 та А.3	
				Потрібно порівняти отриману розрахункову теплову напругу з нормативною. Якщо розрахункове значення буде більше за нормативне, тоді потрібно буде звернутися до викладача	

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4	5	6
6	Ефективна товщина випромінювального шару полум'я	S_T	м	$3,6 \frac{V_T}{F_{cm}}$	
7	Ступінь екранування топки	χ		Для камерних топок - $\chi = \frac{H_{np}}{F_{cm}}$; для шарових топок - $\chi = \frac{H_{np}}{F_{cm} - R}$	
8	Величина	ρ		Для камерних топок - $\rho = 0$; для шарових топок - $\rho = \frac{R}{F_{cm}}$	
9	Умовний коефіцієнт забруднення і закриття екранів	ξ		Газоподібне паливо - $\xi = 0,65$; мазут - $\xi = 0,55$; тверді палива при шаровому спаленні - $\xi = 0,6$	
10	Коефіцієнт теплової ефективності променесприймальної поверхні	ψ		$\psi = \chi \cdot \xi$	
11	Кількість теплоти, що вноситься в топку з повітрям	Q_n	кДж/кг або кДж/м ³	$\alpha_T I_n^o$ Температура холодного повітря приймається рівною 30° С. I_n^o знаходимо за табл. 6.1 шляхом інтерполяції	
12	Корисне тепловиділення в топці	Q_T	кДж/кг або кДж/м ³	$Q_{ня}^p \frac{100 - q_3 - q_4 - q_{6шл}}{100 - q_4} + Q_n$	
13	Теоретична (адіабатична) температура горіння	ϑ_a	°С	Це максимально можлива температура, яку могли б мати продукти згоряння, якщо б у топці не було теплообміну. І тоді ентальпія продуктів згоряння мала б значення корисного тепловиділення В топці $I_a = Q_T$. Визначаємо за табл.6.1 за значенням I_a у стовпчику значень для топки шляхом інтерполяції	

1	2	3	4	5	6
14	Температура газів на виході з топки	$\vartheta_T^{\prime\prime}$	°C	Приймається з наступним уточненням за табл. А.5, - користуючись правилом “поганий” - “гарний” (для “гарного” котла повинно бути більше значення температури)	
15	Загальна об’ємна частка триатомних газів і водяної пари	r_n		за таблицею 5.1 для топки	
16	Об’ємна частка водяної пари	r_{H_2O}		за таблицею 5.1 для топки	
17	Парціальний тиск триатомних газів	p_n	МПа	$p_n = r_n p$, p - тиск у топці (приймається $p = 0,1$ МПа)	
18	Сумарна поглинальна спроможність триатомних газів	$p_n S_T$	м МПа	$p_n S_T$	
19	Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	k_Γ	$\frac{1}{\text{м МПа}}$	За рис. Б.2.	
20	Коефіцієнт ослаблення променів золотими частками	k_{zl}	$\frac{1}{\text{м.МПа}}$	Тільки для твердого палива за рис. Б.3. Для газу та мазуту $k_{zl} = 0$	
21	Сумарна сила поглинання газовим потоком	kps		$(k_\Gamma \cdot r_n + k_{zl} \cdot \mu) S_T p$	
22	Ступінь чорноти факела	a_ϕ		Для всіх палив – за рис.Б.4. Якщо $kps \leq 0,1$, тоді $a_\phi = 0,1$	
23	Ступінь чорноти топки	a_T		За рис. Б.5	
24	Тепловиділення в топці на 1м^2 огорожувальної поверхні	q_F	кВт/м ²	$\frac{B_p Q_T}{F_{cm}}$	

1	2	3	4	5	6
25	Параметр	M		$M = 0,54 - 0,2 \cdot X_T$ – для газу та мазуту; $M = 0,59 - 0,5 \cdot X_T$ – для вугілля. Для всіх палив $X_T = 0,3$	
26	Температура газів на виході з топки	$\vartheta_T^{//}$	°C	За рис. Б.7 - для камерних топок. За рис. Б.6 - для шарових топок. Уважно працюйте з діаграмами. Отриману температуру порівнюємо з температурою, яку приймали у п.14. Якщо розбіжність між ними не більше ± 100 , тоді знайдена температура є остаточною. Якщо розбіжність більша, тоді задаємося новим значенням температури газів на виході з топки в пункті п. 14 та знову здійснюємо розрахунок	
27	Ентальпія газів на виході з топки	$I_T^{//}$	кДж/кг або кДж/м ³	За значенням $\vartheta_T^{//}$ (табл. 6.1) шляхом інтерполяції	
28	Загальне теплосприймання топки	$Q_{\text{л}}^T$	кДж/кг або кДж/м ³	$\varphi(Q_T - I_T^{//})$	
29	Загальне теплосприймання топки	$q_{\text{л}}^T$	%	$\frac{Q_{\text{л}}^T}{Q_T} \cdot 100$	

Висновок:

9. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРОПЕРЕГРІВНИКА

Пароперегрівник – теплообмінний апарат (трубчастий) призначений для підвищення температури пари до заданої в завданні t_{nn} (температури перегрітої пари).

Конструктивний розрахунок пароперегрівника виконується за схемою “протитік”, і визначається потрібна площа пароперегрівника.

Волога пара з барабана котла

$P = 1,6$ МПа, $t_s = 201,37^\circ \text{C}$,

x – паровміст пари (за розрахунком),

i'_n - питома ентальпія (за розрахунком)

Перегріта пара

$P = 1,4$ МПа,

t_{nn} (за завданням),

i_{nn} (за розрахунком з табл. А.9)

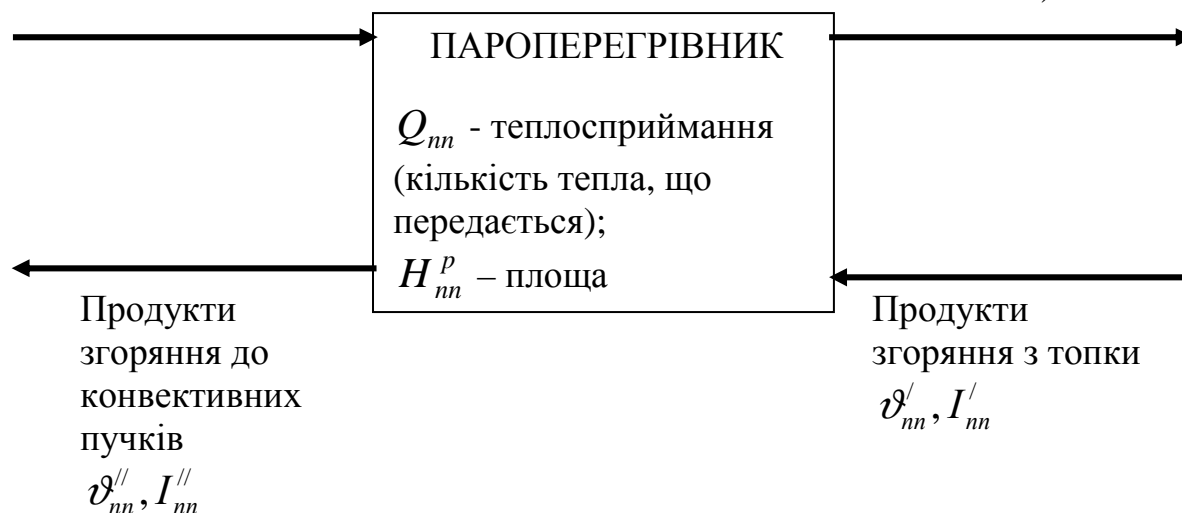


Рис. 9.1 - Розрахункова схема пароперегрівника

У котлі вже встановлено пароперегрівник з поверхнею нагріву H_{nn} , яка знаходиться за конструктивними характеристиками котла. Метою даного розрахунку є визначення розрахункової площі пароперегрівника H_{nn}^P (для заданих температур перегрітої пари, типу котла та виду палива) та порівняння її з уже встановленою площею пароперегрівника H_{nn} .

Рекомендується розрахунок пароперегрівника проводити в табличній формі (табл. 9.1). Після виконання розрахунку потрібно побудувати графік зміни температур теплоносіїв у пароперегрівнику (рис. 9.2).

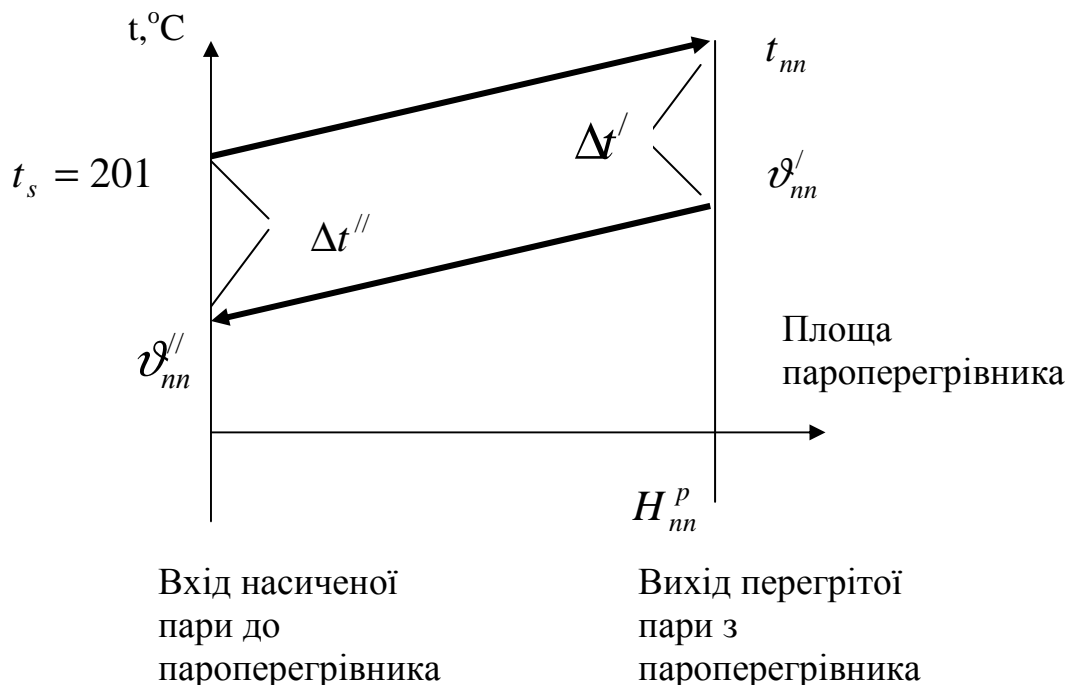


Рис. 9.2 - Графік зміни температур теплоносіїв у пароперегрівнику

10. ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПЕРШОГО КОНВЕКТИВНОГО ПУЧКА

Конвективні пучки – це останні (за рухом продуктів згоряння) теплообмінні поверхні, що входять до єдиної конструкції котла. Усі конвективні пучки виконані з труб однакового діаметра 51x2,5мм. Конвективних пучків у складі котла два (перший і другий). По трубах конвективних пучків (крім останніх рядів другого пучка) з нижнього барабана вода підіймається до верхнього барабана та при цьому кипить (тому пучки іноді називаються кип'ятильними). За рахунок утворення бульбашок пари здійснюється природна циркуляція. У трубах знаходиться пароводяна суміш при тиску 1,6 МПа плюс висота стовпчика нижче рівня верхнього барабана. Для розрахунків приймається, що по всій довжині труби конвективного пучка температура киплячої води дорівнює 201,37°С.

Рух теплоносіїв поперечний. Q_6 - кількість тепла, яка передається від продуктів згоряння до киплячої води за рівнянням теплового балансу. Q_m - кількість тепла, що може бути передана в конвективному пучку за рівнянням теплопередачі.

Розрахунки пучків – це перевірочні розрахунки, які означають, що основною характеристикою розрахунків є визначення точної кількості тепла, що передається в конвективному пучку від продуктів згоряння до киплячої води Q_{kn} та точної температури продуктів згоряння на виході з конвективного пучка $v_{kn}^{//}$.

Таблиця 9.1 - Розрахунок пароперегрівника

Мета розрахунку:

№	Найменування	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула або спосіб визначення та пояснення	Розрахунок
1	2	3	4	5	6
1	Середня довжина одного коліна	$l_{сер}$	м	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)	
2	Діаметр труб	$\frac{d_{зн}}{d_{вн}}$	мм	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)	
3	Поперечний крок	S_1	мм	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)	
4	Поздовжній крок	S_2	мм	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)	
5	Число труб у ряду	Z_1	шт	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)	
6	Число рядів труб	Z_2	шт	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)	
	Розташування труб			коридорне	
	Схема включення Пароперегрівника			протитокова	
7	Живий переріз для проходу пари	F_n	м ²	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)	

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5	6
8	Живий переріз для проходу газів	f_{Γ}	м^2	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)	
9	Поверхня нагріву пароперегрівника в котлі	H_{nn}	м^2	$Z_1 \cdot Z_2 \cdot \pi \cdot d_{zn} \cdot l_{cp}$ Підраховуємо площу пароперегрівника, який встановлено в котлі. d_{zn} та l_{cp} потрібно підставляти у формулу тільки в метрах!	
10	Температура газів на вході в пароперегрівник	ϑ'_{nn}	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta'_{nn} = \vartheta''_T - (20 \div 30^{\circ}\text{C})$ (Охолодження газів прийняти за правилом “поганий” - “гарний”. Для гарного котла зниження температури мінімальне – 20°C)	
11	Ентальпія газів на вході в пароперегрівник	I'_{nn}	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ або $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	За значенням ϑ'_{nn} (табл. 6.1) шляхом інтерполяції	
12	Питома ентальпія вологої насиченої пари при тиску на вхідному колекторі пароперегрівника	i'_n	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$i'_n = x i'' + (1-x) i'$, де i' та i'' - питомі ентальпії киплячої води та сухої насиченої пари при $P=1,6$ МПа (табл. А.9); x – паровміст пари (приймається $x = 0,95 \div 0,98$ за правилом “поганий” - “гарний”; для “гарного” котла значення $x=0,98$)	
13	Питома ентальпія пари на виході з пароперегрівника	i''_n	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Приймати за t_{nn} та $P = 1,4$ МПа (табл. А.9)	
14	Теплосприймання пароперегрівника	Q_{nn}	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ або $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	$\frac{D}{B_p} (i''_n - i'_n)$	
		q_{nn}	%	$\frac{Q_{nn}}{Q_T} \cdot 100$	

1	2	3	4	5	6
15	Ентальпія димових газів на виході з пароперегрівника	$I_{nn}^{//}$	кДж/кг або кДж/м ³	$I_{nn}' - \frac{Q_{nn}}{\varphi} + \Delta\alpha_{nn} I_n^o$	
16	Температура димових газів за пароперегрівником	$\vartheta_{nn}^{//}$	°С	За отриманим значенням $I_{nn}^{//}$ (табл. 6.1)	
17	Середня температура газів	$\vartheta_{сер}$	°С	$\frac{\vartheta_{nn}' + \vartheta_{nn}^{//}}{2}$	
18	Середня температура пари	$t_{сер}$	°С	$\frac{t_{nn} + t_{nn}}{2}$	
19	Середній питомий об'єм пари при $t_{сер}$ середньому тиску $P = 1,5$ МПа	v_n	м ³ /кг	У табл. А.9 знаходимо значення: v_1 за $t_{сер}$ та $P = 1,4$ МПа; v_2 за $t_{сер}$ та $P = 1,6$ МПа; $v_n = \frac{v_1 + v_2}{2}$	
20	Середня швидкість газів у пароперегрівнику	w_Γ	м/с	$\frac{B_p \cdot V_\Gamma (273 + \vartheta_{сер})}{273 \cdot f_\Gamma}$	
21	Середня швидкість пари	w_n	м/с	$\frac{D \cdot v_n}{F_n}$	
22	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією при поперечному обмиванні	α_K	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\alpha_K = \alpha_H \cdot c_z \cdot c_s \cdot c_\phi$ За рис. Б.8. знаходимо значення α_H , c_z , c_s та c_ϕ . $\alpha_H = f(w_\Gamma, d_{zn}); \quad c_z = f(Z_2); \quad c_s = f(\frac{S_1}{d_{zn}}, \frac{S_2}{d_{zn}});$ $c_\phi = f(\vartheta_{сер}, r_{H_2O})$	

1	2	3	4	5	6
23	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до пари	α_2	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\alpha_2 = \alpha_H \cdot c_d$ За рис. Б.9 знаходимо значення α_H та c_d	
24	Товщина випромінювального шару	S	м	$0,9d_{zn} \left(\frac{4S_1 \cdot S_2}{\pi \cdot d_{zn}^2} - 1 \right)$	
25	Сумарна об'ємна частка триатомних газів і водної пари	r_n		За табл. 5.1 для пароперегрівника	
26	Сумарна поглинальна спроможність триатомних газів і водної пари	$p_n S$	м.МПа	$p_n S = p r_n S$, де $p = 0,1 \text{ МПа}$	
27	Об'ємна частка водної пари	r_{H_2O}		За табл. 5.1 для пароперегрівника	
28	Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	k_Γ	$\frac{1}{\text{м.МПа}}$	Рис. Б.2	
29	Коефіцієнт ослаблення променів золотими частками	k_{zl}	$\frac{1}{\text{м.МПа}}$	За значенням $\vartheta_{сер}$ (рис. Б.3) Для газу та мазуту $k_{zl} = 0$	
30	Сумарна оптична товщина запиленого газового потоку	kps		$(k_\Gamma \cdot r_n + k_{zl} \cdot \mu) S \cdot p$	
31	Ступінь чорноти випромінюючого середовища	a		Рис. Б.4. Якщо $kps \leq 0,1$, тоді $a = 0,1$	
32	Коефіцієнт забруднення	ε	$\frac{\text{м}^2 \text{ К}}{\text{Вт}}$	Для твердого палива - $\varepsilon = 0,0043$; для мазуту. $\varepsilon = 0,00257$; для газу. ε	
33	Температура забрудненої стінки труби	t_{cm}	°C	$t_{cm} = t_{сер} + \Delta t$, де для газу: $\Delta t = 25^\circ \text{C}$; $\Delta t = \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \frac{B_p}{H_{nm}} \cdot Q_{nm} \cdot 10^3$ для вугілля та мазуту:	

1	2	3	4	5	6
34	Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням	α_{np}	$\frac{Вт}{м^2 К}$	Рис. Б.10. Для вугілля (запилений потік): $\alpha_{np} = a\alpha_n$ Для мазуту та газу (незапилений потік): $\alpha_{np} = a \cdot c_{\Gamma} \cdot \alpha_n$	
35	Коефіцієнт використання поверхні нагріву	ξ		Приймається 0,9÷0,95 за правилом “гарний” - “поганий”. Для “гарного” котла приймається значення - 0,95	
36	Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки труб	α_1	$\frac{Вт}{м^2 К}$	$\xi(\alpha_K + \alpha_{np})$	
36	Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки труб	α_1	$\frac{Вт}{м^2 К}$	$\xi(\alpha_K + \alpha_{np})$	
37	Коефіцієнт теплової ефективності	ψ		Буре вугілля: $\psi = 0,6$ Кам'яне вугілля: $\psi = 0,65$ Мазут: $\psi = 0,7$ Газ: $\psi = 0,8$	
38	Коефіцієнт теплопередачі	K_{nn}	$\frac{Вт}{м^2 К}$	$\psi \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$	
39	Температурний напір на вході газів до пароперегрівника	$\Delta t'$	°C	$\Delta t' = \vartheta'_{nn} - t_{nn}$	
40	Температурний напір на виході газів з пароперегрівника	$\Delta t''$	°C	$\Delta t'' = \vartheta''_{nn} - t'_{nn}$, де $t'_{nn} = t_s = 201,37^\circ C$	

1	2	3	4	5	6
41	Температурний напір при протитоковому русі	Δt_{npt}	°C	Визначити, яка різниця з Δt^I та Δt^{II} буде мати більше значення Δt_{δ} та менше значення Δt_m , а потім визначити за формулою: $\Delta t_{npt} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}$. Результат має бути більше Δt_m та менше Δt_{δ}	
42	Розрахункова поверхня пароперегрівника	H_{nn}^p	м ²	$\frac{B_p \cdot Q_{nn}}{K_{nn} \cdot \Delta t_{npt}} \cdot 10^3$	
43	Порівняння			Порівнюємо розрахункову поверхню H_{nn}^p з тією, що вже має встановлений у котел пароперегрівник H_{nn} (пункт 9). Якщо $H_{nn}^p > H_{nn}$, тоді потрібно додати труби в пароперегрівник. Якщо $H_{nn}^p < H_{nn}$, тоді робимо висновок, пароперегрівник, установлений у котел, забезпечить необхідний перегрів пари до заданої температури t_{nn}	
44	Додаткова кількість труб у пароперегрівнику	n	шт	$\frac{H_{nn}^p - H_{nn}}{\pi \cdot d_{zn} \cdot l_{сер}}$ Округлити в більшу сторону до цілого числа (підставляти до формули значення d_{zn} та $l_{сер}$ потрібно в метрах)	

Висновок:

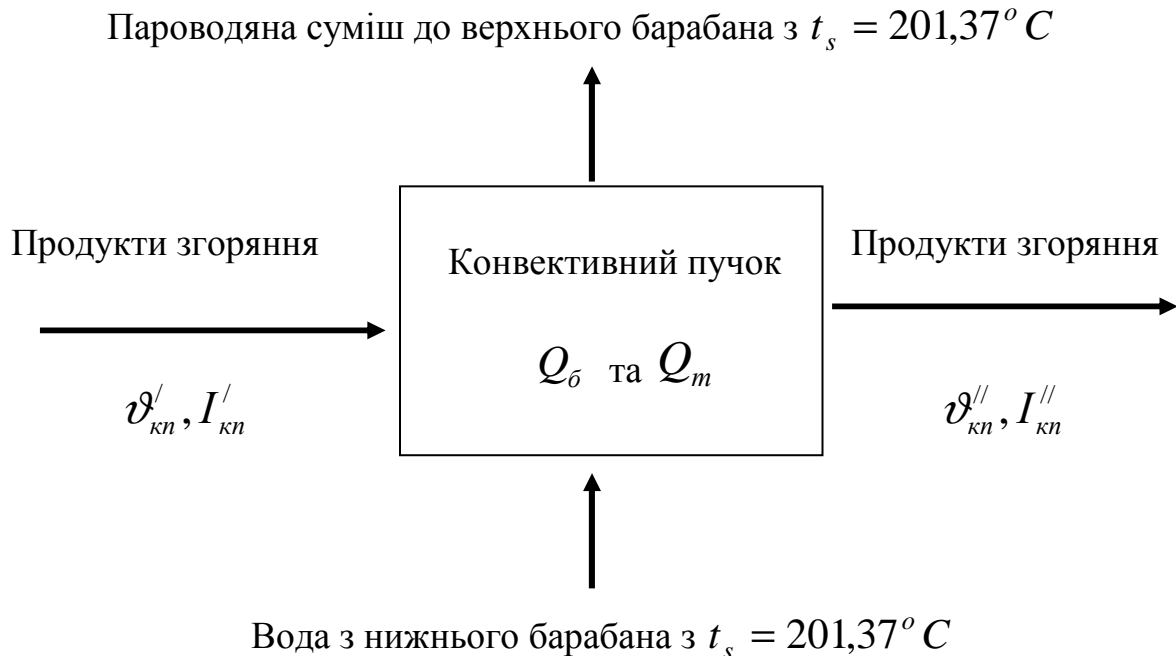


Рис. 10.1 - Розрахункова схема конвективного пучка

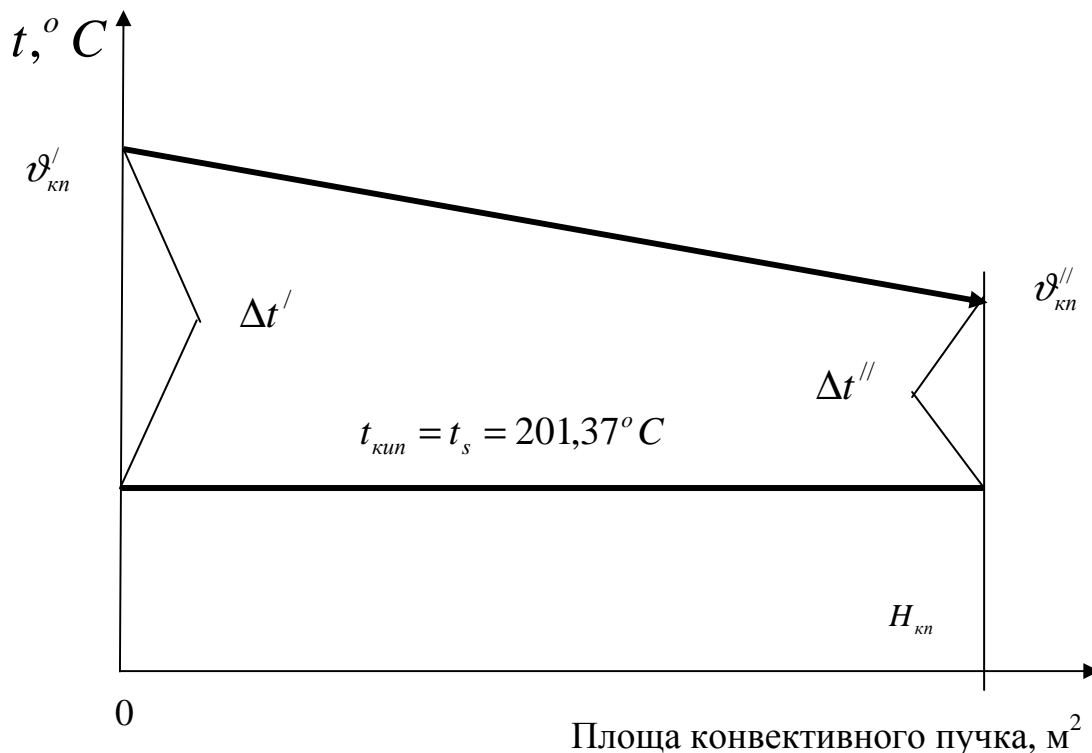


Рис. 10.2 - Температурний графік зміни температур теплоносіїв у пучку

Методика розрахунку першого та другого конвективних пучків абсолютно однакова та викладена в табличній формі за зразком таблиці 10.1. Для розрахунків задаємося температурою продуктів згоряння після конвективного пучка ($v''_{кп}$), а потім її уточнюємо шляхом послідовного приближення (розрахунки необхідно проводити до тих пір, поки значення Q_δ та

Q_m не будуть співпадати з точністю до 1 %). У курсовому проекті необхідно буде зробити тільки по два варіанти розрахунків для кожного з конвективних пучків (для двох значень температури продуктів згоряння після пучка). Тому стовпчик для розрахунків розбивається на два: для першого варіанта розрахунку та для другого. У п. 10 таблиці 10.1. наведені пояснення, як задаватися значеннями температур продуктів згоряння після пучка ($\vartheta_{\text{кп}}''$) для першого варіанта розрахунку кожного конвективного пучка.

Для другого варіанта розрахунку потрібно спочатку порівняти отримані в першому варіанті розрахунку значення $Q_{\text{б}}$ та Q_m (нагадуємо, що розрахунки необхідно проводити до тих пір, поки значення $Q_{\text{б}}$ та Q_m , не будуть співпадати з точністю до 1%). Якщо значення $Q_{\text{б}} < Q_m$, тоді $\vartheta_{\text{кп}}''$ потрібно зменшити, а якщо $Q_{\text{б}} > Q_m$, тоді значення температури продуктів згоряння після пучка ($\vartheta_{\text{кп}}''$) потрібно збільшити. Температуру слід змінювати не більше ніж на 50° С.

Для отримання значення дійсної розрахункової температури продуктів згоряння на виході з кожного конвективного пучка використовуємо тепер графічний метод. Для побудови графіка потрібно вибрати масштаб і точно його витримувати. Приклади побудови графіків залежності $Q = f(\vartheta_{\text{кп}}'')$ наведені на рис. Б.11. За двома варіантами розрахунків спочатку першого конвективного пучка отримано два значення температури продуктів згоряння після пучка ($\vartheta_{\text{кп}}''$) та відповідні їм два значення $Q_{\text{б}}$ та Q_m . На перетині ліній, які з'єднують значення $Q_{\text{б}}$ (для двох значень $\vartheta_{\text{кп}}''$) та значення Q_m (для двох значень $\vartheta_{\text{кп}}''$) , буде знаходитися значення дійсної розрахункової температури продуктів згоряння на виході з першого конвективного пучка. Для отриманого значення дійсної розрахункової температури продуктів згоряння на виході з першого конвективного пучка за графіком знаходимо значення відповідної кількості тепла $Q_{\text{б}} = Q_m$.

11. ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУГОГО КОНВЕКТИВНОГО ПУЧКА

Отримане за графіком значення дійсної розрахункової температури продуктів згоряння на виході з першого конвективного пучка буде відповідати значенню температури продуктів згоряння на вході до другого конвективного пучка ($\vartheta_{\text{Ікп}}' = \vartheta_{\text{Ікп}}''$). Тепер починається перший варіант розрахунку другого конвективного пучка. Після його виконання знову порівнюємо значення $Q_{\text{б}}$ та Q_m . Приймаємо нове значення температури продуктів згоряння на виході з другого конвективного пучка та виконуємо другий варіант розрахунку для другого конвективного пучка. Для отримання значення дійсної розрахункової температури продуктів згоряння на виході з другого конвективного пучка будуємо відповідний графік. Графік потрібно розміщувати в записці після розрахункової таблиці відповідного конвективного пучка.

Таблиця 10.1 - Методика розрахунку конвективного пучка

Мета розрахунку:

№	Найменування	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула або спосіб визначення та пояснення	Розрахунок	
					I варіант	II варіант
1	2	3	4	5	6	7
1	Діаметр труб	$\frac{d_{\text{зн}}}{d_{\text{бн}}}$	мм	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)		
2	Кількість труб у ряду	Z_1	шт	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)		
3	Кількість рядів труб	Z_2	шт	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)		
4	Відносний поперечний крок труб	$\frac{S_1}{d_{\text{зн}}}$		За конструктивними характеристиками (табл. А.10)		
5	Відносний поздовжній крок труб	$\frac{S_2}{d_{\text{зн}}}$		За конструкт. характеристиками (табл. А.10)		
6	Поверхня нагріву конвективного пучка	$H_{\text{кп}}$	м ²	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)		
7	Площа живого перерізу для проходу газів	F_{Γ}	м ²	За конструктивними характеристиками (табл. А.10)		
8	Температура газів на вході до пучка	$\vartheta'_{\text{Iкп}}$ або $\vartheta'_{\text{IIкп}}$	°С	$\vartheta'_{\text{Iкп}} = \vartheta''_{\text{nn}}$ - на вході до першого пучка температура газів дорівнює температурі на виході з пароперегрівника; $\vartheta'_{\text{IIкп}} = \vartheta''_{\text{Iкп}}$ - на вході до другого пучка температура газів дорівнює температурі на виході з першого пучка		

1	2	3	4	5	6	7
9	Ентальпія газу на вході до пучка	I'_{Ikn} або I'_{IIkn}	кДж/кг або кДж/м ³	За ϑ'_{Ikn} або ϑ'_{IIkn} (табл. 6.1) шляхом інтерполяції. Уважно вибираємо значення ентальпій зі стовпчика таблиці для відповідного пучка		
10	Задаємося температурою газів за конвективним пучком	ϑ''_{Ikn} або ϑ''_{IIkn}	°С	Значенням температури для І-го варіанта розрахунку кожного пучка задаємося: для першого конвективного пучка - $\vartheta''_{Ikn} = \frac{\vartheta'_{Ikn}}{2}$; для другого конвективного пучка - $\vartheta''_{IIkn} = \vartheta'_{IIkn} - 150^{\circ}\text{C}$. Значення для ІІ-го варіанта розрахунку приймаються за рекомендаціями в поясненнях відповідного розділу		
11	Ентальпія газів за конвективним пучком	I''_{Ikn} або I''_{IIkn}	кДж/кг або кДж/м ³	За ϑ''_{Ikn} або ϑ''_{IIkn} (табл. 6.1) шляхом інтерполяції. Уважно вибираємо значення ентальпій зі стовпчика таблиці для відповідного пучка		
12	Кількість тепла, яка передається від продуктів згоряння до киплячої води в конвективному пучку за рівнянням теплового балансу	$Q_{бIkn}$ або $Q_{бIIkn}$	кДж/к г або кДж/м ³	$\varphi(I'_{Ikn} - I''_{Ikn} + \Delta\alpha_{Ikn} I_n^o)$ або $\varphi(I'_{IIkn} - I''_{IIkn} + \Delta\alpha_{IIkn} I_n^o)$, де φ та I_n^o знаходимо в табл. 7.1; $\Delta\alpha_{Ikn}$ та $\Delta\alpha_{IIkn}$ – розділ. 5		
13	Середня температура газів у конвективному пучку	$\vartheta_{кп}^{сер}$	°С	$\frac{\vartheta'_{Ikn} + \vartheta''_{Ikn}}{2}$ або $\frac{\vartheta'_{IIkn} + \vartheta''_{IIkn}}{2}$		
14	Температура кипіння при тиску в барабані $P = 1,6$ МПа	$t_{куп}$	°С	$t_{куп} = t_s$ (табл. А.9)		

1	2	3	4	5	6	7
15	Середня швидкість газів	w_{Γ}	м/с	$\frac{B_p \cdot V_{\Gamma} (273 + \vartheta_{\kappa\pi}^{cep})}{273 \cdot f_{\Gamma}},$ <p>де V_{Γ} для першого або другого конвективного пучка знаходимо у відповідному стовпчику табл. 5.1</p>		
16	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією	α_K	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}}$	$\alpha_K = \alpha_H \cdot c_z \cdot c_s \cdot c_{\phi}$ <p>За рис. Б.8. знаходимо значення α_H, c_z, c_s та c_{ϕ}</p> $\alpha_H = f(w_{\Gamma}, d_{3\pi}); \quad c_z = f(Z_2); \quad c_s = f\left(\frac{S_1}{d_{3\pi}}, \frac{S_2}{d_{3\pi}}\right);$ $c_{\phi} = f(\vartheta_{\kappa\pi}^{cep}, r_{H_2O})$		
17	Ефективна товщина випромінювального шару	S	м	$0,9d_{3\pi} \left(\frac{4S_1 \cdot S_2}{\pi \cdot d_{3\pi}^2} - 1 \right)$		
18	Сумарна поглинальна спроможність триатомних газів	$p_n S$	м.МПа	$p_n S = pr_n S$ <p>де $p = 0,1$ МПа; r_n – для першого або другого конвективного пучка (табл. 5.1)</p>		
19	Коефіцієнт послаблення променів триатомними газами	k_{Γ}	$\frac{1}{\text{м.МПа}}$	Рис. Б.2		
20	Коефіцієнт ослаблення променів золотими частками при $\vartheta_{\kappa\pi}^{cep}$	$k_{3\pi}$	$\frac{1}{\text{м.МПа}}$	<p>За значенням $\vartheta_{\kappa\pi}^{cep}$ (рис. Б.3).</p> <p>Для газу та мазуту $k_{3\pi} = 0$</p>		
21	Сумарна сила поглинання газовим потоком	kps		$(k_{\Gamma} \cdot r_n + k_{3\pi} \cdot \mu) S \cdot p$		
22	Ступінь чорноти газового потоку	a		<p>Рис.Б.4</p> <p>Якщо $kps < 0,1$, тоді приймати $a = 0,1$</p>		

1	2	3	4	5	6	7
23	Температура забрудненої стінки труби	t_{cm}	°C	$t_{cm} = t_{kun} + \Delta t$ для газу : $\Delta t = 25^{\circ} C$; для вугілля та мазуту: $\Delta t = 60^{\circ} C$		
24	Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням	α_{np}	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}}$	Рис. Б.10. Для вугілля (запилений потік): $\alpha_{np} = a \alpha_n$ Для мазуту та газу (незапилений потік): $\alpha_{np} = a \cdot c_r \cdot \alpha_n$		
25	Коефіцієнт використання поверхні нагріву	ξ		0,9 ÷ 0,95		
26	Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки	α_1	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}}$	$\xi(\alpha_K + \alpha_{np})$		
27	Коефіцієнт теплопередачі в конвективному пучку	K_{Ikn} чи K_{IIkn}	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}}$	$\psi \alpha_1$, де ψ за п.37 таблиці 9.1		
28	Температурний напір на вході до конвективного пучка	Δt^I	°C	$\Delta t^I_{Ikn} = \vartheta^I_{Ikn} - t_{kun}$ або $\Delta t^I_{IIkn} = \vartheta^I_{IIkn} - t_{kun}$		
29	Температурний напір на виході з конвективного пучка	Δt^{II}	°C	$\Delta t^{II}_{Ikn} = \vartheta^{II}_{Ikn} - t_{kun}$ або $\Delta t^{II}_{IIkn} = \vartheta^{II}_{IIkn} - t_{kun}$		
30	Середній логарифмічний температурний напір у конвективному пучку	Δt_{kn}	oC	Визначити, яка різниця з Δt^I та Δt^{II} буде мати більше значення Δt_{δ} та менше значення Δt_m , а потім визначити за формулою: $\Delta t_{kn} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}$		

1	2	3	4	5	6	7
31	Теплосприймання конвективного пучка за рівнянням теплопередачі	Q_t	кДж/кг або кДж/м ³	$\frac{K_{кп} \cdot H_{кп} \cdot \Delta t_{кп}}{B_p \cdot 10^3}$		
Після побудови графіка						
32	Дійсне значення температури продуктів згоряння за конвективним пучком	$\vartheta_{Iкп}^{//}$ або $\vartheta_{IIкп}^{//}$	°C	Дійсне значення $\vartheta_{Iкп}^{//}$ дорівнює $\vartheta_{IIкп}^{/}$. З значення $\vartheta_{IIкп}^{/}$ починається розрахунок другого конвективного пучка. Дійсне значення $\vartheta_{IIкп}^{//}$ приймається, як температура продуктів згоряння на вході до економайзера		
33	Дійсне значення теплосприйняття конвективного пучка	$Q_{Iкп}$ або $Q_{IIкп}$	кДж/кг або кДж/м ³	Знаходиться за графіком при дійсному значенні температури продуктів згоряння за конвективним пучком		

Висновок:

12. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ЕКОНОМАЙЗЕРА

Економайзер – це елемент котлоагрегату, що стоїть окремо, і до конструкції самого котла не належить. З'єднується економайзер з котлом газоходом, по якому продукти згоряння з другого конвективного пучка потрапляють до нього. У економайзері підігрівається живильна вода до подавання її у верхній барабан котла. Рух теплоносіїв – протиток (рис.12.1).

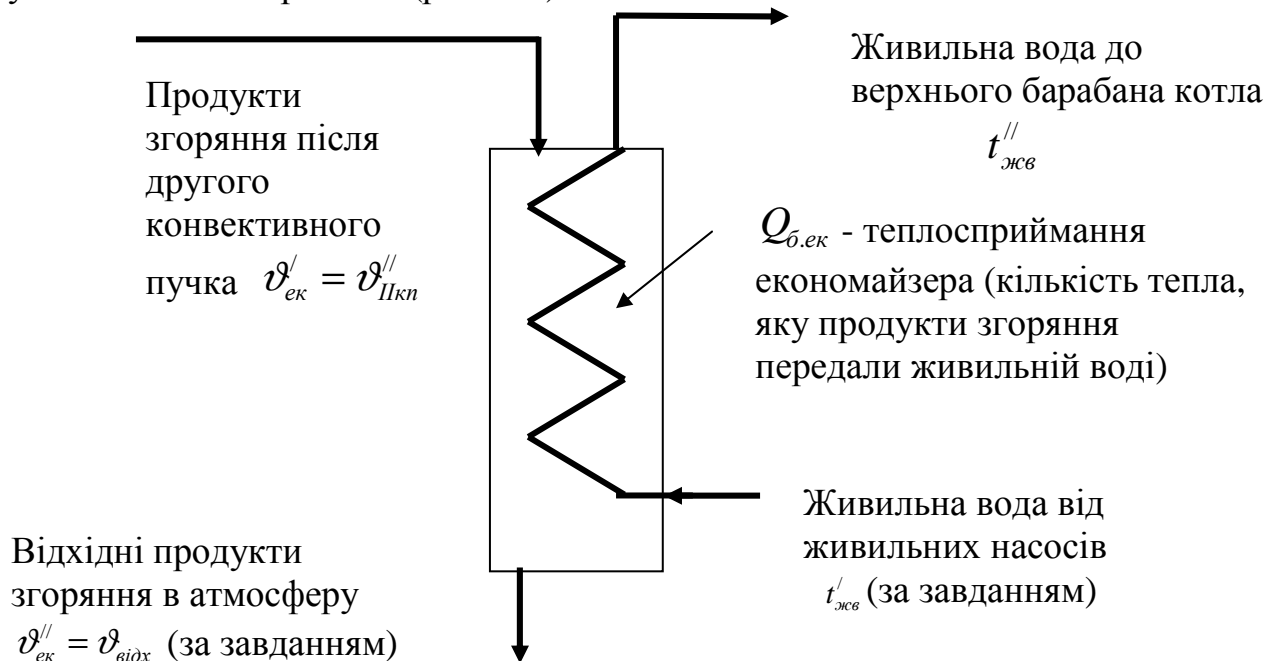


Рис.12.1 - Розрахункова схема економайзера

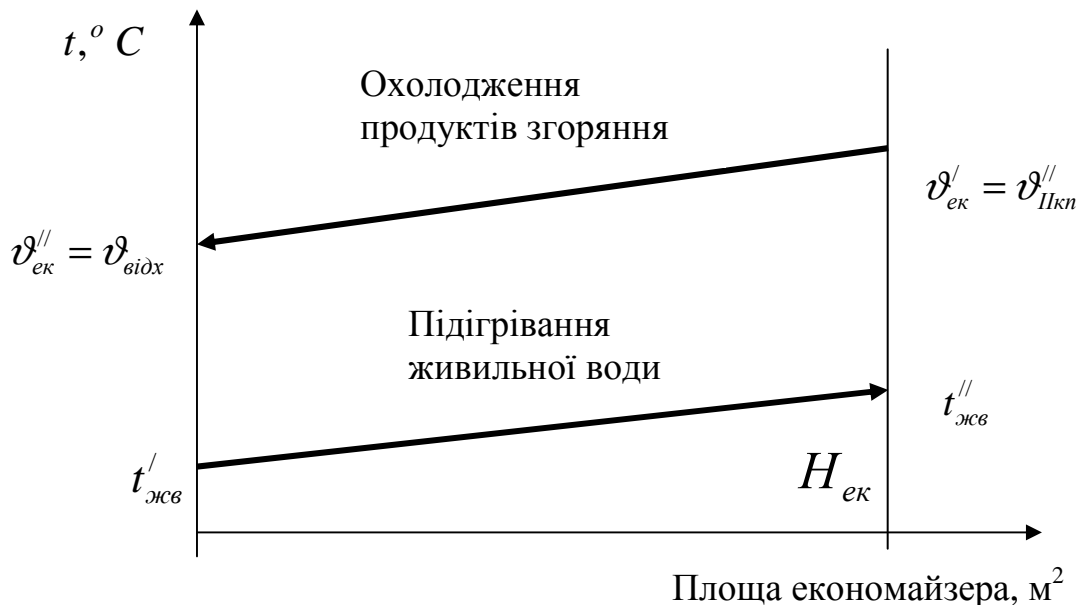


Рис.12.2. Температурний графік зміни температур теплоносіїв у економайзері

Метою розрахунку економайзера - визначення поверхні теплообміну, кількості труб у ряду та кількість рядів труб (за прийнятої довжини труб).

Економізатор збирається з чавунних стандартних оребрених труб - довжиною: 1,5; 2,0; 2,5 та 3,0 метри. Ребра мають форму квадрата (рис. Б.12 - економізатори ВТІ). Окремі труби з'єднуються колінами як по горизонталі, так і по вертикалі.

Живильна вода послідовно проходить по всіх трубах економізатора (рис.12.3).

Мінімальна кількість труб у горизонтальному ряду – 4.

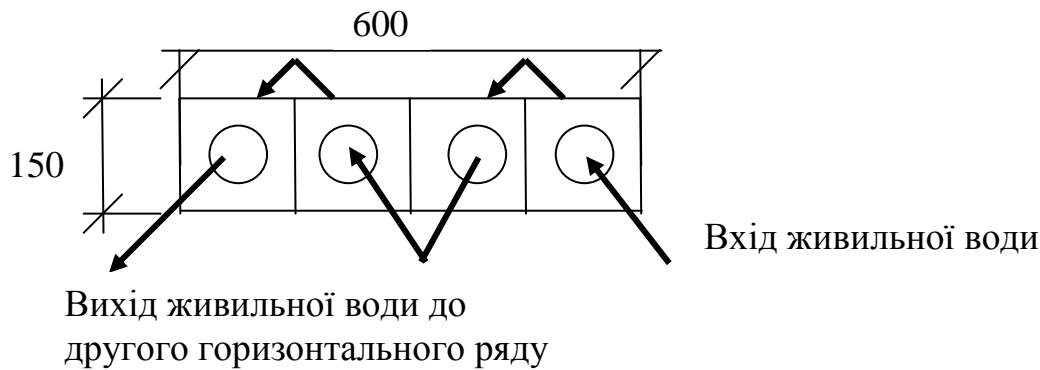


Рис. 12.3 - Схема руху живильної води у горизонтальному ряду

Наступний ряд встановлюється на нижній ряд. Тільки встановлювати всю кількість рядів (за розрахунком) один на одного не можна. Поверхні ребер з боку продуктів згоряння забруднюються (при спаленні всіх видів палива), і їх потрібно періодично обдувати паром, яка виробляється в котлі. Обдувальний апарат – це перфорована труба діаметром 57х3 мм. Вона встановлюється вздовж труб на всю їх довжину. Обдути можна тільки чотири ряди вверх і вниз. Для встановлення перфорованої труби між рядами залишають проміжок – 600 мм. Схематично це можна побачити на рис. 12.4.

Після проведення розрахунку за формою таблиці 12.1 потрібно навести схему компонування економізатора відповідно до вказівок. Приклад схеми компонування (рис. 12.4) для ситуації: кількість труб у горизонтальному ряду – 4; кількість рядів – 15. За кількості рядів труб $10 \div 17$ потрібно встановлювати для продувки рядів два обдувальних обладнання, а за кількості числі рядів $18 \div 20$ обдувальних апаратів потрібно три. Якщо кількість рядів $7 \div 9$, тоді можна встановити один обдувальний апарат. Після розрахунку потрібно навести температурний графік зміни параметрів теплоносіїв в економізаторі (рис. 12.2).

Таблиця 12.1 - Конструктивний розрахунок водяного економайзера

Мета розрахунку:

№	Найменування	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула або спосіб визначення та пояснення	Розрахунок
1	2	3	4	5	6
1	Середня довжина однієї труби	$l_{сер}$	м	За конструктивними характеристиками та рекомендаціями з таблиці А.10	
2	Діаметр труби	$\frac{d_{зн}}{d_{вн}}$	мм	За конструктивними характеристиками таблиці А.10 для всіх котлів приймається 76х60	
3	Поверхня нагріву однієї труби з газового боку	$H_{тр}$	м ²	За конструктивними характеристиками (таблиці А.10)	
4	Живий переріз для проходу газів	$f_{Г}$	м ²	За конструктивними характеристиками (таблиці А.10)	
5	Розміщення труб			Коридорне для всіх котлів	
6	Температура газів на вході до економайзера	$\vartheta'_{ек}$	°С	Із розрахунку конвективного пучка $\vartheta'_{ек} = \vartheta''_{Ікп}$	
7	Ентальпія газів на вході в економайзер	$I'_{ек}$	кДж/кг чи кДж/м ³	За $\vartheta'_{ек}$ (табл. 6.1)	
8	Температура газів на виході з економайзера	$\vartheta''_{ек}$	°С	$\vartheta''_{ек} = \vartheta_{відх}$ за завданням	
9	Ентальпія газів на виході з економайзера	$I''_{ек}$	кДж/кг або кДж/м ³	За $\vartheta''_{ек}$ (таблиці 6.1)	
10	Температура живильної води на вході до економайзера	$t'_{жв}$	°С	$t'_{жв} = t_{жв}$ за завданням	

1	2	3	4	5	6
11	Питома ентальпія живильної води на вході до економайзера	$i'_{жв}$	кДж/кг	За п. 18 таблиці 7.1 або таблиці А.9	
12	Продуктивність економайзера	$D_{ек}$	кг/с	$D + D_{np} = D + (0,03 \div 0,07)D = (1,03 \div 1,07)D$	
13	Теплосприймання економайзера за рівнянням теплового балансу	$Q_{б.ек}$	кДж/кг	$\varphi(I'_{ек} - I''_{ек} + \Delta\alpha_{ек} I_n^o)$	
		$q_{б.ек}$	%	$\frac{Q_{б.ек}}{Q_T} \cdot 100$	
14	Питома ентальпія живильної води на виході з економайзера	$i''_{жв}$	кДж/кг	$i' + \frac{Q_{б.ек} B_p}{D_{ек}}$	
15	Температура живильної води на виході з економайзера	$t''_{жв}$	°С	За $i''_{жв}$ та $P = 1,6$ МПа (табл. А.9)	
16	Температурний напір на вході до економайзера	$\Delta t'$	°С	$\vartheta'_{ек} - t''$	
17	Температурний напір на виході з економайзера	$\Delta t''$	°С	$\vartheta''_{ек} - t'$	
18	Середній температурний напір	$\Delta t_{сер}$	°С	Визначити, яка різниця $\Delta t'$ та $\Delta t''$ буде мати більше значення Δt_{δ} та менше значення Δt_m , а потім визначити за формулою: $\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}$	
19	Середня температура димових газів	$\vartheta_{сер}$	°С	$\frac{\vartheta'_{ек} + \vartheta''_{ек}}{2}$	

1	2	3	4	5	6
20	Швидкість димових газів	w_{Γ}	м/с	Спочатку задаємося : $w_{\Gamma} = 8 \div 10$ м/с	
21	Потрібний живий переріз для проходу димових газів	$f_{жс}$	м ²	$\frac{B_p V_{\Gamma} (\vartheta_{сер} + 273)}{273 w_{\Gamma}}$	
22	Кількість труб у горизонтальному ряду	Z_1	шт	$\frac{f_{жс}}{f_{\Gamma}}$ (округлити до цілого більшого значення)	
23	Уточнення швидкості димових газів	w	м/с	$\frac{B_p V_{\Gamma} (\vartheta_{сер} + 273)}{273 f_{\Gamma} \cdot Z_1}$	
24	Коефіцієнт теплопередачі	$K_{ек}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$K_{ек} = K_H \cdot c_{\vartheta}$ (рис. Б.12)	
25	Розрахункова поверхня нагрівання економайзера	$H_{ек}$	м ²	$\frac{Q_{б.ек} B_p}{K_{ек} \Delta t_{сер}} 10^3$	
26	Загальне число труб в економайзері	n	шт	$\frac{H_{ек}}{H_{тр}}$ (потрібно округлити в більший бік до цілого значення)	
27	Число горизонтальних рядів	Z_2	шт	$\frac{n}{Z_1}$ (потрібно округлити в більший бік до цілого значення)	

Висновок:

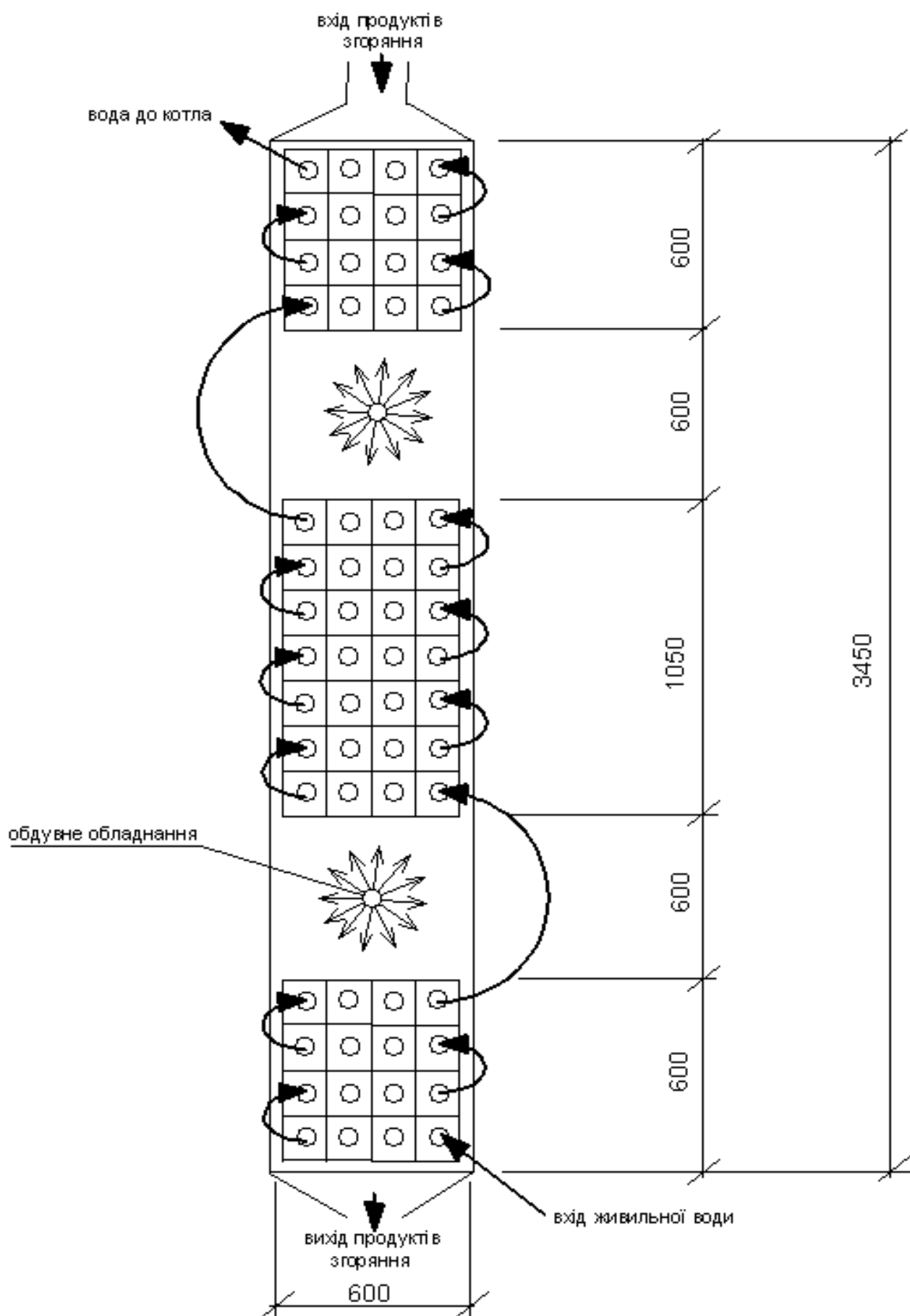


Рис. 12.1 – Схема компоновки економайзера

13. УТОЧНЕННЯ БАЛАНСОВИХ ВЕЛИЧИН

Метою розрахунку (табл. 13.1) є уточнення ККД парогенератора, яке визначене у розрахунку теплового балансу котла.

$Q_{ня}^p \cdot \eta_{ПГ}$ - це корисно використане тепло в котлі, яке має “розібрати” топка, пароперегрівник, перший і другий конвективні пучки та економайзер. Кожен з цих елементів відібрав у продуктів згоряння відповідну кількість тепла: $Q_T, Q_{nn}, Q_{Ikn}, Q_{IIkn}, Q_{ек}$, які ми визначили за відповідними методиками.

Якщо розрахункова нев’язка ΔQ буде більше нуля, тоді це значить, що при розрахунках елементів котла зменшувались коефіцієнти теплопередачі. Якщо $\Delta Q < 0$, тоді методики розрахунків елементів котла дали завищені значення.

Значення нев’язки Δq у межах $\pm 5\%$ знаходяться у межах точності проведення розрахунків у даному курсовому проєкті та тому перераховувати ККД не потрібно. Якщо $\Delta q > \pm 5\%$, тоді звернутися потрібно до викладача та визначити реальний ККД. Тільки потрібно врахувати, що ККД не може бути більше 95 %.

14. ГРАФІК ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ У КОТЛІ

Після виконання всіх необхідних розрахунків потрібно побудувати графік зміни деяких параметрів у котлі, а саме коефіцієнта надлишку повітря, температури води та пари, температури продуктів згоряння й ентальпії продуктів згоряння.

На вісі абсцис відкладаються значення розрахункових поверхонь нагрівання елементів котла. На вісях ординат відкладаються чотири величини (для кожної вибирається необхідний масштаб) зміни параметрів у котлі (коефіцієнта надлишку повітря, температури води та пари, температури продуктів згоряння й ентальпії продуктів згоряння).

При побудові графіка потрібно з розрахунків вибрати кожен параметр і його числове значення на вході та виході з кожного елемента котла і проставити його позначення та числове значення. Для зручності графіки потрібно креслити різними кольорами.

Зразок графіка зміни параметрів в котлі наведено на рис. 14.1.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. СНиП II-89-80. Котельные установки. - М.: Госстрой СССР, 1980.
2. Р. И. Эстеркин. Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. - 280 с.
3. Тепловой расчёт промышленных парогенераторов. Под ред. В. И. Частухина. - К.: Вища школа, 1980. - 184 с.
4. Г. Н. Деягин, В. И. Лебедев, Б. А. Пермяков. Теплогенерирующие установки. - М.: Стройиздат, 1986. - 560 с.
5. К. Ф. Роддатис, А. Н. Полтарецкий. Справочник по котельным установкам малой производительности. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 488 с.

Таблиця 13.1 - Уточнення балансових величин

Мета розрахунку:

№	Найменування	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула або спосіб визначення	Розрахунок
1	2	3	4	5	6
1	Корисне тепловиділення в топці	Q_T	кДж/кг або кДж/м ³	За розрахунком топки	
2	Промєнєве теплосприймання топки	Q_{np}^T	кДж/кг або кДж/м ³	За розрахунком топки	
3	Розрахункова нев'язка теплового балансу	ΔQ	кДж/кг або кДж/м ³	$Q_{ня}^p \cdot \eta_{ПГ} - (Q_{np}^T + Q_{nn} + Q_{Ikn} + Q_{IIkn} + Q_{ек}) \frac{100 - q_4}{100}$	
		Δq	%	$\frac{\Delta Q}{Q_p^p \cdot \eta_{ПГ}} \cdot 100$	
4	Реальне ККД	$\eta_{реал}$	%	$Q_{ня}^p \cdot \eta_{реал} = (Q_{np}^T + Q_{nn} + Q_{Ikn} + Q_{IIkn} + Q_{ек}) \frac{100 - q_4}{100}$ $\eta_{реал} = \frac{(Q_{np}^T + Q_{nn} + Q_{Ikn} + Q_{IIkn} + Q_{ек}) \frac{100 - q_4}{100}}{Q_{ня}^p}$	

Висновок:

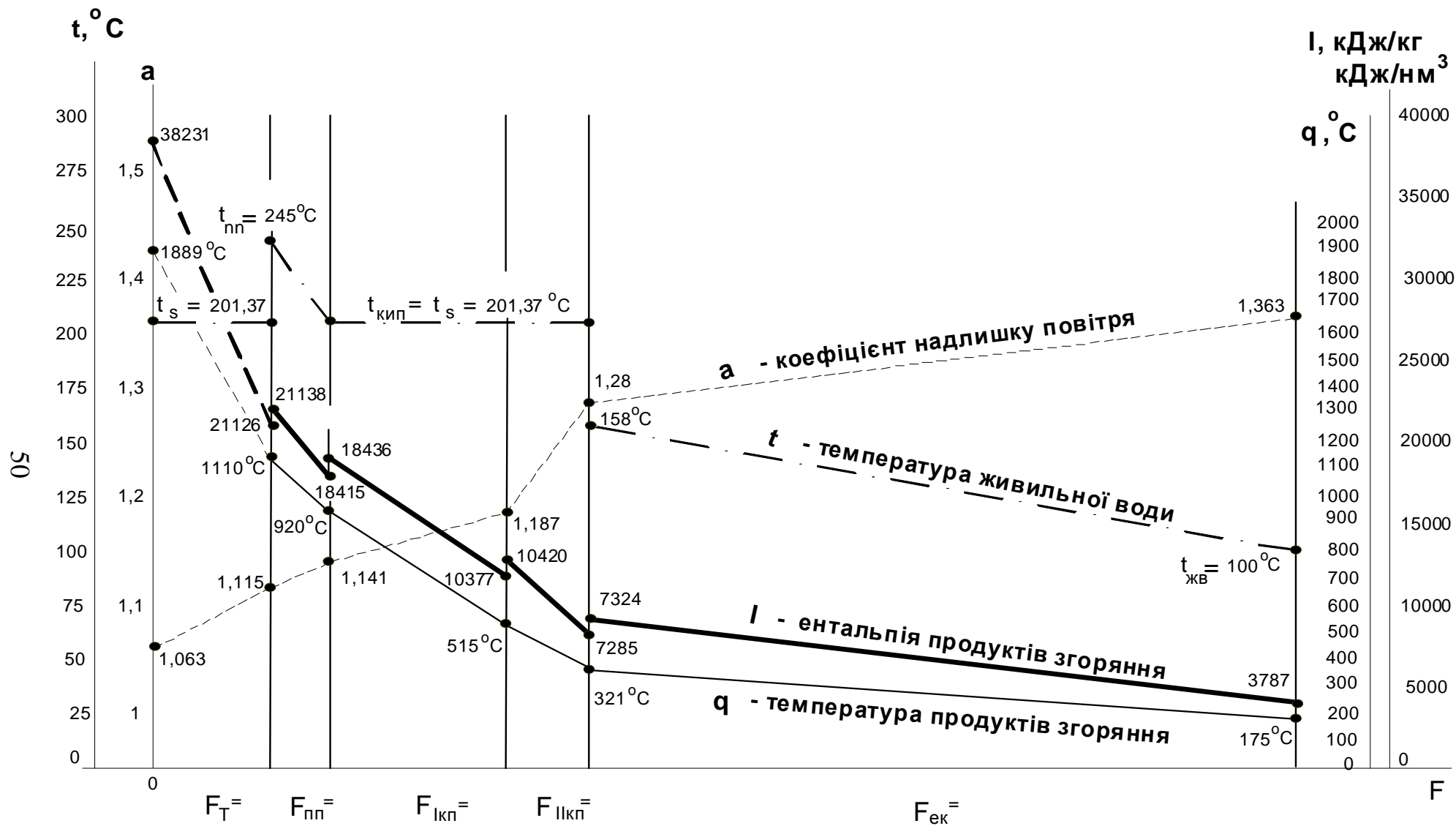


Рис. 14.1 – Графік параметрів у котлі

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 - Об'єми повітря та продуктів згоряння твердих, рідких та газоподібних палив, м³/кг (нм³/нм³), при $\alpha = 1$, $t = 0^\circ\text{C}$ та $p = 760\text{мм рт. ст.}$

№	Басейн, родовище	Марка палива	Клас вугілля	V^o	V_{RO_2}	$V_{N_2}^o$	$V_{H_2O}^o$	V_{Γ}^o
Вугілля								
1	Донецьке	Д	Р	5,16	0,94	4,08	0,64	5,67
2	Донецьке	Д	Відсів	4,78	0,86	3,78	0,63	5,27
3	Донецьке	Г	Г	5,83	1,05	4,61	0,61	6,28
4	Донецьке	Г	Відсів	5,19	0,94	4,11	0,60	5,65
5	Донецьке	Т	Р	6,43	1,19	5,09	0,51	6,79
6	Донецьке	А	Ш, СШ	6,04	1,20	4,78	0,34	6,32
7	Донецьке	ПА	Р, відсів	6,64	1,26	5,25	0,46	6,97
8	Волинське	Б2	Р	5,75	1,05	4,55	0,63	6,23
9	Міжріччинське	Б2	Р	5,66	1,02	4,48	0,59	6,09
Рідкі палива								
10	Мазут	Малосірчастий		10,62	1,58	8,39	1,51	11,48
11	Мазут	Сірчастий		10,45	1,57	8,25	1,45	11,28
12	Мазут	Високосірчастий		10,20	1,57	8,06	1,36	10,99
Природні гази								
13	Гоголево - Полтава			8,26	0,87	6,66	1,86	9,39
14	Дашава - Київ			9,52	1,00	7,52	2,15	10,68
15	Угерсько - Стрий			9,43	0,99	7,46	2,13	10,59
16	Шебелинка - Острогожськ			9,96	1,07	7,88	2,21	11,16
17	Шебелинка – Київ			9,98	1,07	7,90	2,20	11,19
18	Кумертау – Україна			9,74	1,06	7,79	2,13	10,98
19	Газлі - Україна			9,72	1,04	7,69	2,18	10,91
20	Хаджі – Україна			10,03	1,09	7,97	2,20	11,26
21	Джаркак – Україна			9,74	1,04	7,70	2,18	10,92
22	Газлі - Україна			9,47	1,00	7,49	2,14	10,63
23	Карабулак - Україна			12,21	1,41	9,68	2,54	13,63
24	Бухара - Україна			9,7	1,04	7,70	2,16	10,89
25	Туркменістан – Україна			9,91	1,07	7,84	2,21	11,11

Таблиця А.2 - Розрахункові характеристики механізованих топків з пневмомеханічним закидачем і ланцюговою решіткою зворотнього ходу

Вид палива	Коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки α_T''	Допустимі теплові напруження на		Втрати теплоти від недопалу		Частка золи палива, що виносять гази, $a_{\text{винос}}$	Тиск повітря під решіткою P , Па
		Площу дзеркала горіння q_R , кВт/м ²	Об'єм топки q_v , кВт/м ³	Хімічного q_3 , %	Механічного q_4 , %		
Кам'яне вугілля	1,20 ÷ 1,45	1400 ÷ 1700	300 ÷ 450	0,50 ÷ 1,70	2,20 ÷ 5,70	0,080 ÷ 0,36	50
Буре вугілля	1,20 ÷ 1,50	1300 ÷ 1600	280 ÷ 430	0,60 ÷ 1,80	2,40 ÷ 6,00	0,140 ÷ 0,42	50

Таблиця А.3 - Розрахункові характеристики камерних топок для спалювання горючих газів і мазутів

Паливо	Коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки α_T''	Допустиме теплове напруження q_v , кВт/м ³	Втрати теплоти від хімічного недопалу q_3 , %
Мазут	1,10 – 1,20	320 - 450	0,50 ÷ 1,00
Природний газ	1,05 – 1,20	350 - 460	0,20 ÷ 0,60

Таблиця А.4 - Присоси повітря в топках і газоходах котла

Газохід	$\Delta\alpha$
1. Топкові камери механічних топок для спалення твердого палива	0,10 ÷ 0,16
2. Топкові камери газомазутних котлів	0,04 ÷ 0,09
3. Газоходи конвективних поверхонь нагріву для всіх котлів	
а) пароперегрівник	0,02 ÷ 0,04
б) перший конвективний пучок	0,04 ÷ 0,08
в) другий конвективний пучок	0,08 ÷ 0,14
г) економайзер чавунний з обшивкою	0,07 ÷ 0,15

Таблиця А.5 - Орієнтовні значення температури газів на виході з топки ϑ_T'' , °С

Тип топки і вид спалюваного палива	Температура газів
Шарові топки:	
буре вугілля	950 ÷ 970
кам'яне вугілля	950 ÷ 1000
Камерні топки для газу і мазуту:	
мазут	1000 ÷ 1050
природний газ	1050 ÷ 1100

Таблиця А.6 - Розрахункові характеристики твердих, рідких і газоподібних палив

Держава край, область	Басейн родовище	Марка палива	Клас або продукт збагачення	Робоча маса палива								Нижча теплота згорання	Вихід летючих на горючу масу
				Склад, %									
				волога	зола	сірка	сірка	вуглець	водень	азот	кисень	Q_n^p , кДж/кг	V^G , %
				W^p	A^p	S_{κ}^p	S_o^p	C^p	H^p	N^p	O^p		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Тверде паливо													
Україна, Донецька, Луганська області	Донецьке	Д	Р	13,0	21,8	1,5	1,5	49,3	3,6	1,0	8,3	19598	44,0
	Донецьке	Д	Відсів	14,0	25,8	2,5	1,4	44,8	3,4	1,0	7,1	17755	44,0
	Донецьке	Г	Р	8,0	23,0	2,0	1,2	55,2	3,8	1,0	5,8	22026	40,0
	Донецьке	Г	Відсів	11,0	26,7	1,9	1,2	49,2	3,4	1,0	5,6	19807	40,0
	Донецьке	Т	Р	5,0	23,8	2,0	0,8	62,7	3,1	0,9	1,7	24204	15,0
	Донецьке	А	Ш, СШ	8,5	22,9	1,0	0,7	63,8	1,2	0,6	1,3	22571	3,5
	Донецьке	ПА	Р, відсів	5,0	20,9	1,7	0,7	66,6	2,6	1,0	1,5	25251	7,5
Україна Львівська Волинська області	Волинське	буре	Б2	20,0	19,8	1,8	0,8	45,5	3,7	0,9	7,5	21984	39,0
	Міжріченське	буре	Б2	18,0	15,8	2,3	0,8	53,7	3,6	0,7	5,1	21566	38,0

Продовження таблиці А.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Рідке паливо													
	Мазут	Малосірчастий		3,0	0,05	0,3		81,65	11,7	0,3		40284	-
	Мазут	Сірчастий		3,0	0,1	1,4		83,8	11,2	0,5		39739	-
	Мазут	Високосірчастий		3,0	0,1	2,8		83,0	10,4	0,7		38776	-
Газоподібне паливо													
Газопровід	Склад газу за об'ємом, %							Нижча теплота згоряння сухого газу, Q_n^c , $\frac{\text{ккал}}{\text{нм}^3}$ — $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$	Густина газу за нормальних умов S_T^c , кг/м ³				
	метан	етан	пропан	бутан	пентан	азот	вуглекислий газ						
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂ і понад	N ₂	CO ₂						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Гоголево – Полтава	85,8	0,2	0,1	0,1	0	13,7	0,1	7400 - 30988	0,789				
Дашава – Київ	98,9	0,3	0,1	0,1	0	0,4	0,2	8570 - 35887	0,712				
Угерсько – Стрий	98,5	0,2	0,1	0	0	1,0	0,2	8480 – 35510	0,722				
Шебелинка - Острогожськ	92,8	3,9	1,0	0,4	0,3	1,5	0,1	8910 – 37311	0,781				
Шебелинка – Київ	94,1	3,1	0,6	0,2	0,8	1,2	-	9045 - 37876	0,776				
Кумертау – Україна	81,7	5,3	2,9	0,9	0,3	8,8	0,1	8790 - 36808	0,858				
Газлі – Україна	95,4	2,6	0,3	0,2	0,2	1,1	0,2	8740 - 36599	0,750				
Хаджі – Україна	85,9	6,1	1,5	0,8	0,6	5,0	0,1	9160 - 38358	0,832				
Джаркак – Україна	95,5	2,7	0,4	0,2	0,1	1,0	0,1	8760 - 36682	0,748				
Газлі – Україна	94,0	2,8	0,4	0,3	0,1	2,0	0,4	8660 - 36264	0,751				
Карабулак – Україна	68,5	14,5	7,6	3,5	1,0	3,5	1,4	10950 - 45853	1,036				
Бухара – Україна	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4	8770 - 36724	0,758				
Туркменістан - Україна	93,8	3,6	0,7	0,2	0,4	0,7	0,6	8970 - 37562	0,776				

Таблиця А.7 - Ентальпія повітря, I_n^o , кДж/кг(нм³) (при $\alpha = 1$ t = 100...1000°C)

Басейн, родовище, марка палива	Температура, °C									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вугілля										
Донецьке ДР	682	1373	2077	2797	3530	4284	5054	5833	6612	7412
Донецьке Д, відсів	632	1273	1926	2589	3270	3966	4682	5402	6122	6863
Донецьке ГР	770	1553	2349	3157	3996	4836	5711	6586	7466	8371
Донецьке Г, відсів	687	1382	2090	2814	3551	4309	5088	5811	6654	7458
Донецьке ТР	850	1713	2592	3484	4401	5339	6302	7273	8241	9238
Донецьке АШ, СШ	800	1608	2433	3275	4133	5017	5921	6830	7743	8677
Донецьке ПАВ, відсів	879	1767	2676	3597	4543	5511	6507	7508	8509	9534
Волинське Б2	762	1532	2316	3116	3936	4773	5638	6503	7370	8262
Міжрічинське Б2	749	1507	2282	3076	3873	4698	5548	6403	7233	8342
Рідкі палива										
Мазут малосірчастий	1407	2830	4279	5757	7269	8818	10409	12013	13616	15262
Мазут сірчастий	1382	2780	4208	5657	7147	8671	10237	11812	13382	15006
Мазут високосірчастий	1348	2717	4112	5527	6980	8470	9999	11535	13676	14564
Газопроводи										
Гоголево - Полтава	1093	2198	3324	4472	5648	6850	8089	9333	10576	11858
Дашава – Київ	1260	2533	3635	5158	6515	7901	9329	10761	12197	13671
Угерсько – Стрий	1248	2512	3802	5112	6456	7830	9245	10664	12088	13549
Шебелинка – Острогожськ	1319	2650	4011	5397	6816	8265	9760	11259	12762	14303
Шебелинка – Київ	1319	2659	3923	5280	6830	8286	9701	11288	12791	14340
Кумертау – Україна	1290	2596	3923	5280	6666	8085	9546	11016	12486	13993
Газлі - Україна	1285	2586	3919	5267	6653	8068	9530	10995	12461	13968
Хаджи - Україна	1327	2671	4040	5431	6858	8320	9823	11334	12846	14399
Джаркак – Україна	1298	2592	3923	5276	6662	8081	9538	11008	12473	13985
Газлі – Україна	1277	2567	3886	5225	6595	8001	9446	10899	12352	13846
Карабулак - Україна	1616	3253	4920	6615	8353	10132	11962	13805	15613	17535
Бухара - Україна	1290	2592	3919	5271	6657	8077	9534	11003	12469	13976
Туркменістан -Україна	1311	2638	3990	5368	6779	8223	9710	11204	12699	14232

Продовження таблиці А.7 (при $\alpha = 1$, $t = 1100 \dots 2000^\circ\text{C}$)

Басейн, родовище, марка палива	Температура, $^\circ\text{C}$									
	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вугілля										
Донецьке ДР	8233	9053	9874	10720	11562	12403	13245	14091	14953	15816
Донецьке Д, відсів	7621	8383	9114	9924	10703	11482	12261	13044	13844	14644
Донецьке ГР	9296	10226	11151	12106	13057	14007	14958	15912	16888	17864
Донецьке Г, відсів	8287	9940	10783	11633	12479	1279	13325	14175	15046	16784
Донецьке ТР	10264	11285	12311	13356	14407	15458	16509	17560	18636	19712
Донецьке АШ,СШ	9640	10602	11562	12548	13537	14521	15509	16498	17506	18519
Донецьке ПАВ, відсів	10594	11650	12705	13788	14872	15957	17041	18126	19239	20349
Волинське Б2	9175	10092	11005	11946	12883	13821	14763	15701	16664	17627
Міжрічинське Б2	9032	9932	10833	11757	12682	13608	14529	15036	16405	17351
Рідкі палива										
Мазут малосірчастий	16949	18641	20332	22065	23799	25536	27274	29008	30787	32566
Мазут сірчастий	16668	18331	19993	21697	23405	25109	26818	28522	30272	32022
Мазут високосірчастий	16279	17904	19528	21195	22861	24527	26194	27860	29535	31277
Газопроводи										
Гоголево - Полтава	13172	14483	15798	17146	18494	19842	21190	22539	23920	25306
Дашава – Київ	15186	16702	18217	19771	21324	22878	24435	25989	28840	29179
Угерсько – Стрий	15046	16551	18050	19591	21132	22673	23937	25754	27337	28915
Шебелинка – Острогожськ	15890	17472	19059	20684	22313	23937	25566	27190	28861	30527
Шебелинка – Київ	15927	17514	19105	20734	22363	23996	25624	27257	28928	30599
Кумертау – Україна	15542	17096	18645	20236	21827	23418	25009	26600	28233	29862
Газлі - Україна	15513	17062	18607	20194	21785	23372	24959	26546	28174	29863
Хаджи - Україна	15994	17590	19185	20822	22459	24096	25737	27375	29054	30733
Джаркак – Україна	15534	17083	18632	20219	21810	23401	24975	26579	28272	29841
Газлі – Україна	15374	16915	18448	20022	21597	23171	24745	26319	27936	29348
Карабулак - Україна	19480	21421	23363	25356	27349	29342	31336	33333	35376	37419
Бухара - Україна	15525	17075	18620	20211	21802	23430	24980	26567	28195	29828
Туркменістан -Україна	15810	17384	18963	20583	22199	23820	25436	27056	28714	30372

Таблиця А.8 - Ентальпія продуктів згоряння, I_G^o , кДж/кг(нм³) (при $\alpha = 1$, $t = 100 \dots 1000^\circ\text{C}$)

Басейн, родовище, марка палива	Температура, °C									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вугілля										
Донецьке ДР	787	1595	2424	3283	4162	5058	5979	6925	7897	8876
Донецьке Д, відсів	732	1482	2257	3052	3869	4702	5560	6444	7344	8257
Донецьке ГР	870	1763	2680	3626	4602	5590	6607	7654	8726	9810
Донецьке Г, відсів	782	1587	2412	3266	4141	5029	5946	6892	7855	8830
Донецьке ТР	938	1905	2893	3919	4970	6038	7139	8269	9925	10593
Донецьке АШ, СШ	875	1775	2701	3655	4639	5636	6662	7721	8801	9890
Донецьке ПАР, відсів	963	1955	2973	4029	5108	6205	7336	8500	9689	10886
Волинське Б2	863	1756	2663	3605	4572	5552	6565	7608	8671	9747
Міжрічинське Б2	845	1768	2600	3517	4463	5422	6410	7428	8466	9537
Рідкі палива										
Мазут малосірчастий	1587	3207	4869	6586	8349	10137	11983	13880	15827	17786
Мазут сірчастий	1558	3149	4782	6469	8198	9961	11770	13637	15542	17472
Мазут високосірчастий	1516	3069	4664	6306	7993	9710	11477	13294	15153	17033
Газопроводи										
Гоголево - Полтава	1294	2609	3957	5347	6770	8177	9710	11250	12821	14416
Дашава - Київ	1470	2969	4505	6084	7704	9354	11054	12804	14542	16409
Угерсько – Стрий	1457	2943	4468	6033	7641	9278	10962	12699	14470	16271
Шебелинка – Острогожськ	1537	3107	4710	6364	8056	9781	11556	13390	15257	17158
Шебелинка – Київ	1541	3111	4719	6377	8073	9802	11582	13415	15291	17192
Кумертау – Україна	1512	3052	4631	6255	7922	9618	11359	13160	14998	16865
Газлі - Україна	1503	3031	4602	6214	7872	9555	11288	13080	14906	16761
Хаджи - Україна	1549	3132	4748	6414	8127	9865	11657	13503	15387	17305
Джаркак – Україна	1503	3036	4606	6222	7880	9567	11301	13093	14918	16789
Газлі – Україна	1491	3010	4564	6167	7809	9484	11204	12980	14788	16607
Карабулак - Україна	1880	3793	5757	7775	9848	11958	14131	16371	18657	20954
Бухара - Україна	1503	3036	4606	6218	7876	9563	11297	13089	14914	16775
Туркменістан - Україна	1532	3090	4685	6331	8018	9735	11502	13323	15182	17083

Продовження таблиці А.8 (при $\alpha = 1$, $t = 1100...2000^{\circ}\text{C}$)

Басейн, родовище, марка палива	Температура, $^{\circ}\text{C}$									
	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вугілля										
Донецьке ДР	9865	10857	11870	12904	13930	14973	16019	17070	18138	19197
Донецьке Д, відсів	9174	10099	11041	12004	12959	13926	14902	15881	16874	17858
Донецьке ГР	10895	11992	13109	14253	15383	16530	17682	18842	20018	21186
Донецьке Г, відсів	9295	10225	11150	12833	13851	14885	15923	16970	18029	19080
Донецьке ТР	11765	12946	14152	15387	16601	17837	19080	20328	21592	22848
Донецьке АШ, СШ	10983	12084	13210	14357	15492	16643	17863	18963	20139	21308
Донецьке ПАР, відсів	12092	13306	14546	15810	17058	18326	19604	20885	22183	23472
Волинське Б2	10828	11916	13030	14165	15287	16430	17577	18728	19837	21061
Міжрічинське Б2	10572	11631	12720	13825	14992	16036	17154	18276	19419	20550
Рідкі палива										
Мазут малосірчастий	19758	21743	23778	25851	27902	29991	32093	34199	36339	38466
Мазут сірчастий	18276	21375	23355	25390	27408	29460	31520	33588	35694	37779
Мазут високосірчастий	18921	20822	22769	24754	26717	28714	30724	32738	34790	36820
Газопроводи										
Гоголево - Полтава	16015	17627	19285	20973	22647	24347	26064	27784	29535	31277
Дашава – Київ	18234	20068	21952	23874	25784	27722	29673	31637	33626	35610
Угерсько - Стрий	18079	19901	21768	23673	25566	27488	29426	31369	33345	35313
Шебелинка – Острогожськ	19063	20985	22953	24963	26960	28982	31026	33073	35158	37231
Шебелинка – Київ	19105	21027	23003	25013	27010	29041	31088	33140	35229	37306
Кумертау – Україна	18741	20625	22560	24536	26495	28484	30490	32504	34551	36586
Газлі - Україна	18624	20485	22431	24385	26332	28312	30306	32307	34342	36368
Хаджи - Україна	19277	21161	23150	25172	27182	29225	31285	33349	35451	37545
Джаркак – Україна	18641	20516	22447	24410	26361	28342	30339	32340	34379	36406
Газлі – Україна	18481	20340	22254	24201	26131	28095	30075	32064	34082	36092
Карабулак - Україна	23309	25654	28061	30515	32948	35426	37917	40417	42963	45491
Бухара - Україна	18636	20512	22442	24406	26353	28333	30331	32336	34371	36398
Туркменістан - Україна	18971	20881	22844	24941	26826	28844	30875	32914	34987	37051

Таблиця А.9 - Термодинамічні властивості води та перегрітої пари

Температура, °C	Тиск $P = 1,4$ МПа		Тиск у барабані $P = 1,6$ МПа	
	$t_s = 195,04^\circ\text{C}$ ($t_{\text{кип}}$)		$t_s = 201,37^\circ\text{C}$ ($t_{\text{кип}}$)	
	$v' = 0,0011489 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad v'' = 0,14072 \text{ м}^3/\text{кг};$ $i' = 830,1 \text{ кДж/кг}; \quad i'' = 2788 \text{ кДж/кг};$		$v' = 0,0011586 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad v'' = 0,12368 \text{ м}^3/\text{кг};$ $i' = 856,6 \text{ кДж/кг}; \quad i'' = 2792,2 \text{ кДж/кг};$	
	v , $\text{м}^3/\text{кг}$	i , кДж/кг	v , $\text{м}^3/\text{кг}$	i , кДж/кг
1	2	3	4	5
90	0,0010355	378,0	0,0010354	378,1
100	0,0010430	420	0,0010429	420,2
110	0,0010512	462,2	0,0010511	462,4
120	0,0010599	504,6	0,0010598	504,7
130	0,0010693	547,1	0,0010692	547,2
140	0,0010794	589,8	0,0010792	589,2
150	0,0010901	632,7	0,0010900	632,8
160	0,0011016	675,9	0,0011015	676,0
170	0,0011140	719,4	0,0011138	719,6
180	0,0011272	763,3	0,0011270	763,4
190	0,0011414	807,6	0,0011412	807,7
200	0,1429	2802,1	0,0011564	852,4
210	0,1473	2828,9	0,1271	2816,7
220	0,1515	2854,5	0,1310	2843,7
230	0,1556	2879,5	0,1347	2869,8
240	0,1596	2903,7	0,1383	2894,9
250	0,1635	2927,4	0,1419	2919,4
260	0,1674	2950,6	0,1453	2943,3
270	0,1709	2974,0	0,1484	2967,0

Примітка: t_s – температура насичення (а саме в точці кипіння $t_{\text{кип}}$), °C; v' – питомий об'єм води у стані насичення (а саме в точці кипіння), $\text{м}^3/\text{кг}$; v'' – питомий об'єм насиченої пари у стані насичення (а саме в точці кипіння), $\text{м}^3/\text{кг}$; i' – питома ентальпія води при t_s у стані насичення (а саме у точці кипіння), кДж/кг ; i'' – питома ентальпія насиченої пари при t_s у стані насичення (а саме в точці кипіння), кДж/кг ; v та i – питомий об'єм та ентальпія води (над жирною рисою) та перегрітої пари (під жирною рисою) при t_i та $P = 1,4$ МПа або t_i та $P = 1,6$ МПа, $\text{м}^3/\text{кг}$ та кДж/кг .

Таблиця А.10 - Конструктивні характеристики парогенераторів КЕ та ДЕ

При користуванні таблицею потрібна увага: у чисельнику наведені дані для котлів з твердим паливом (тип КЕ)
у знаменнику – для котлів на газі та мазуті (тип ДЕ)

№	Найменування характеристик	Позначення	Одиниці	КЕ-2,5-14 ДЕ-2,5-14	КЕ-4-14 ДЕ-4-14	КЕ-6,5-14 ДЕ-6,5-14	КЕ-10-14 ДЕ-10-14	ДЕ-16-14
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Топкова камера								
1	Тип топки	-	-	<u>ЗП-РПК-2</u> камерна	<u>ТЛМЗ</u> камерна	<u>ТЛМЗ</u> камерна	<u>ТЛМЗ</u> камерна	<u>камерна</u>
2	Об'єм топки з камерою догорання	V_T	м ³	$\frac{10,47}{7,04}$	$\frac{12,03}{8,01}$	$\frac{14,77}{11,21}$	$\frac{22,6}{17,14}$	$\frac{22,5}{22,5}$
3	Повна променесприймальна поверхня топки	H_{np}	м ²	$\frac{19,12}{16,72}$	$\frac{20,5}{21,84}$	$\frac{24,78}{28}$	$\frac{30,3}{39,02}$	$\frac{48,13}{48,13}$
4	Повна поверхня стінок топки	$F_{ст}$	м ²	$\frac{37,2}{18,68}$	$\frac{45,76}{23,8}$	$\frac{51,18}{30}$	$\frac{62}{41,5}$	$\frac{52,4}{52,4}$
5	Активна площа дзеркала горіння	R	м ²	$\frac{2,74}{-}$	$\frac{3,27}{-}$	$\frac{4,4}{-}$	$\frac{6,39}{-}$	$\frac{-}{-}$
6	Зовнішній діаметр екранних труб та товщина стінок труб	$d_{зн} \times \delta$	мм	$\frac{51 \times 2,5}{51 \times 2,5}$	$\frac{51 \times 2,5}{51 \times 2,5}$	$\frac{51 \times 2,5}{51 \times 2,5}$	$\frac{51 \times 2,5}{51 \times 2,5}$	$\frac{51 \times 2,5}{51 \times 2,5}$
7	Крок труб бокових екранів	S	мм	$\frac{52,5}{55}$	$\frac{52,5}{55}$	$\frac{52,5}{55}$	$\frac{52,5}{55}$	$\frac{55}{55}$
8	Відносний крок труб бокових екранів	S / d	-	$\frac{1,03}{1,08}$	$\frac{1,03}{1,08}$	$\frac{1,03}{1,08}$	$\frac{1,03}{1,08}$	$\frac{1,08}{1,08}$
Пароперегрівник (для котлів КЕ та ДЕ однакові)								
1	Діаметр труб зовнішній та внутрішній	$\frac{d_{зн}}{d_{вн}}$	мм	32 x 26	32 x 26	32 x 26	32 x 26	32 x 26
2	Поперечний крок труб	S_1	мм	75	75	75	75	75
3	Поздовжній крок труб	S_2	мм	63	63	63	63	63
4	Число труб у ряду	Z_1	шт	3	4	6	8	12

Продовження таблиці А.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Число рядів труб	Z_2	шт	6	8	8	8	8
6	Середня довжина одного коліна	l	мм	2640	2640	2640	2640	2640
7	Середній живий переріз для проходу газів	f_Γ	м ²	0,706	1,13	1,57	1,88	2,84
8	Число паралельно включених за парою труб	n	шт	4	8	12	16	16
9	Переріз для проходу пари	F_n	м ²	0,0059	0,0095	0,0152	0,019	0,0304
Перший конвективний пучок (для котлів КЕ та ДЕ однакові)								
1	Розміщення труб			коридорне				
2	Зовнішній діаметр труб та товщина стінки труби	$d_{\text{зн}} \times \delta$	мм	51x2,5	51x2,5	51x2,5	51x2,5	51x2,5
3	Поперечний крок	S_1	мм	110	110	110	110	110
4	Поздовжній крок	S_2	мм	90	90	90	90	90
5	Число труб у ряду	Z_1	шт	$\frac{9}{8}$	$\frac{15}{12}$	$\frac{23}{15}$	$\frac{28}{18}$	$\frac{-}{21}$
6	Число рядів труб	Z_2	шт	$\frac{18}{26}$	$\frac{18}{35}$	$\frac{18}{35}$	$\frac{26}{41}$	$\frac{-}{54}$
7	Поверхня нагріву	$H_{\text{Кп}}$	м ²	$\frac{41,0}{24,6}$	$\frac{56,4}{32,4}$	$\frac{89,37}{45,3}$	$\frac{128,34}{78,4}$	$\frac{-}{92,0}$
8	Живий переріз для проходу газу	F_Γ	м ²	$\frac{0,411}{0,312}$	$\frac{0,707}{0,381}$	$\frac{1,27}{0,46}$	$\frac{1,53}{0,55}$	$\frac{-}{0,71}$
Другий конвективний пучок (для котлів КЕ та ДЕ однакові)								
1	Розміщення труб			коридорне				
2	Зовнішній діаметр труб та товщина стінки труби	$d_{\text{зн}} \times \delta$	мм	51x2,5	51x2,5	51x2,5	51x2,5	51x2,5
3	Поперечний крок	S_1		110	110	110	110	110
4	Поздовжній крок	S_2	мм	90	90	90	90	90
5	Число труб у ряду	Z_1	шт	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{11}{10}$	$\frac{-}{16}$

Продовження таблиці А.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Число рядів труб	Z_2	шт	$\frac{16}{26}$	$\frac{18}{35}$	$\frac{18}{35}$	$\frac{20}{41}$	$\frac{-}{54}$
7	Поверхня нагріву	H_{Ikn}	м ²	$\frac{26,5}{12,6}$	$\frac{37,53}{15,9}$	$\frac{59,58}{22,73}$	$\frac{85,65}{39,3}$	$\frac{-}{52,0}$
8	Живий переріз для проходу газів	F_Γ	м ²	$\frac{0,245}{0,186}$	$\frac{0,393}{0,215}$	$\frac{0,633}{0,232}$	$\frac{0,77}{0,273}$	$\frac{-}{0,484}$
Економайзер (для всіх котлів потрібно зібрати з окремих чавунних труб стандартного розміру)								
1	Розміщення труб					коридорне		
2	Зовнішній та внутрішній діаметр чавунних труб			$\frac{d_{zn}}{d_{вн}}$	мм	76 x 60	76 x 60	76 x 60
3	Довжина труб			l	мм	1500	2000	2500
4	Поверхня нагріву однієї труби з газової сторони			$H_{тр}$	м ²	2,21	2,95	3,69
5	Живий переріз для проходу газів			F_Γ	м ²	0,09	0,12	0,15

ДОДАТОК Б

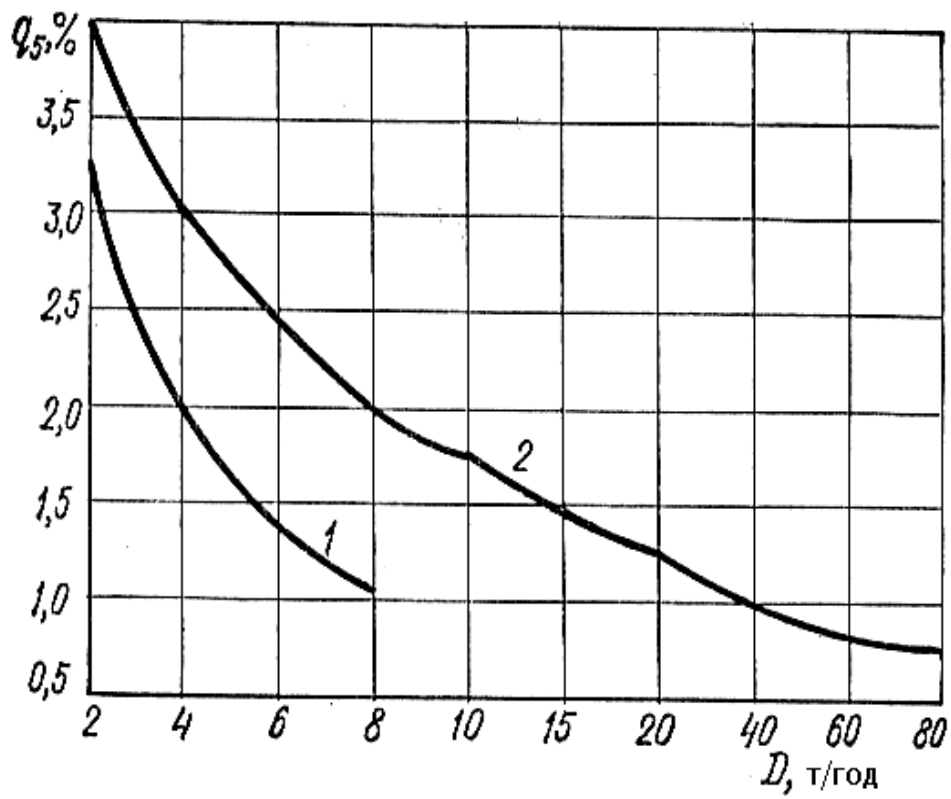


Рис. Б.1. Графік для визначення втрат теплоти від зовнішнього охолодження парогенератора без хвостової поверхні (1) та з хвостовою поверхнею (2)

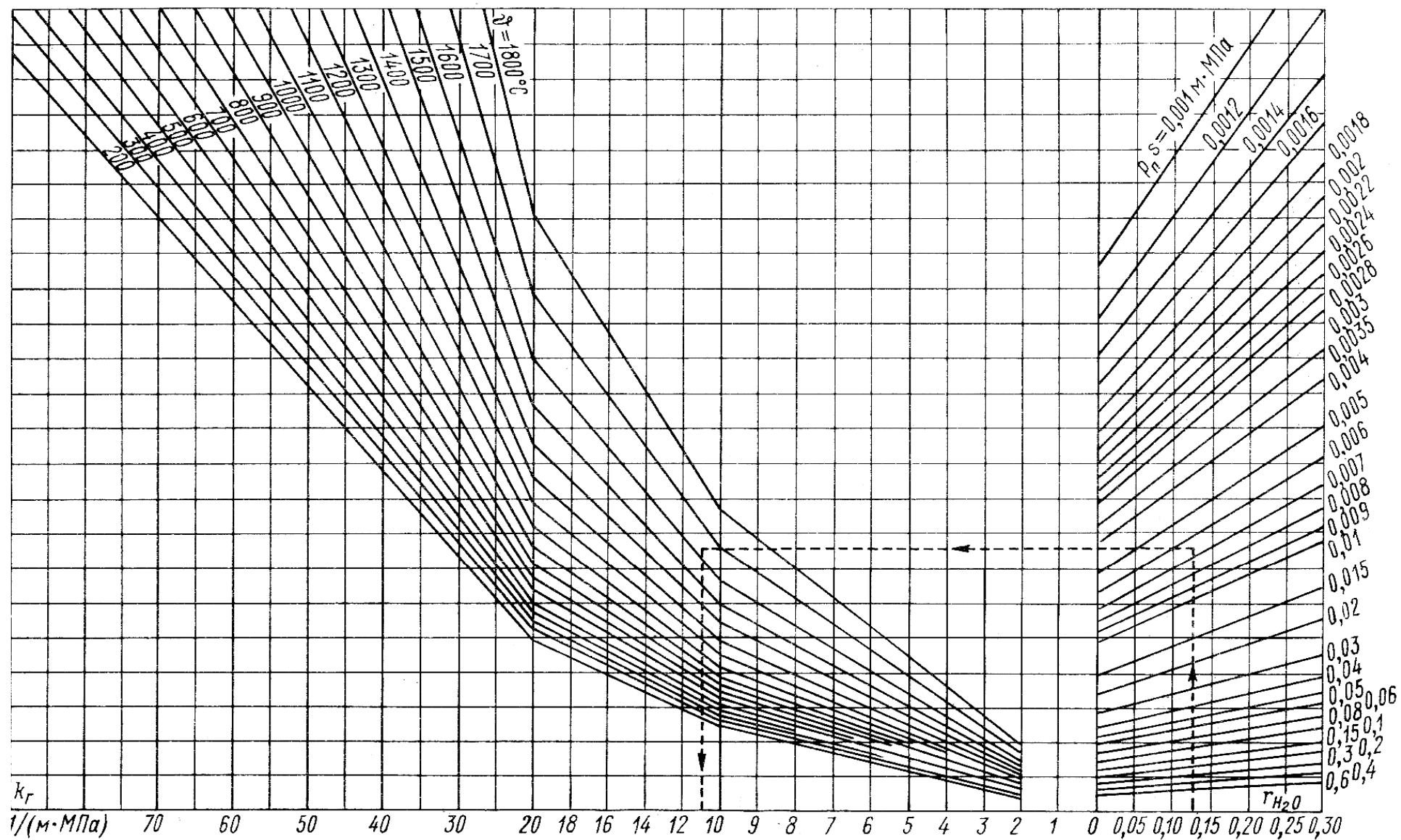


Рис. Б.2. Номограма для визначення коефіцієнта ослаблення променів триатомними газами

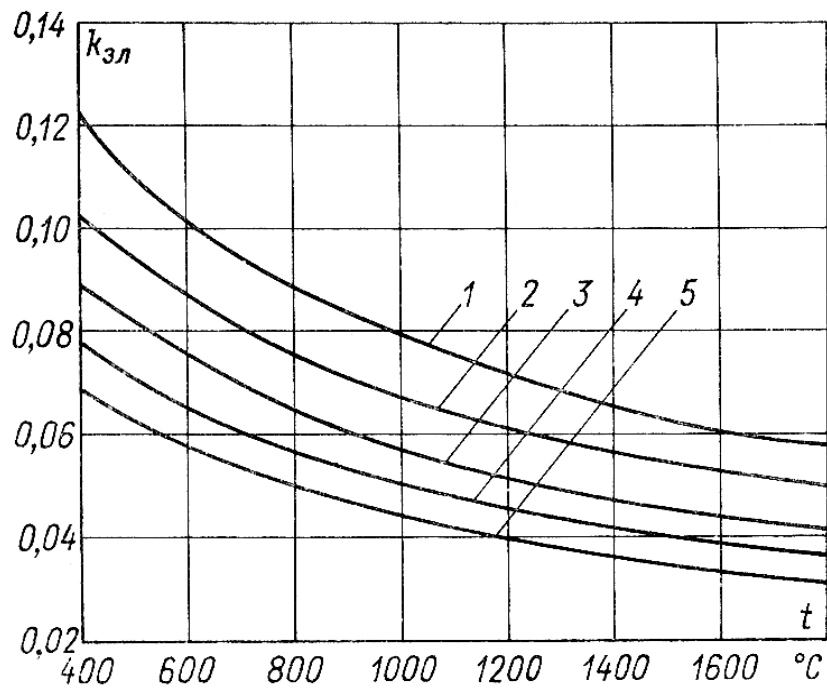


Рис. Б.3. Графіки для визначення коефіцієнта ослаблення променів золотими частинками: 1 – при спалюванні пилу в циклонних топках; 2 – при спалюванні вугілля, що розмелене в кульових барабанних млинах; 3 – при спаленні вугілля, що розмелене в середньоходових і молоткових млинах та млинах - вентиляторах; 4 – при спалюванні палива в шарових топках і дробарки в циклонних топках; 5 – при спалюванні торфу в камерних топках

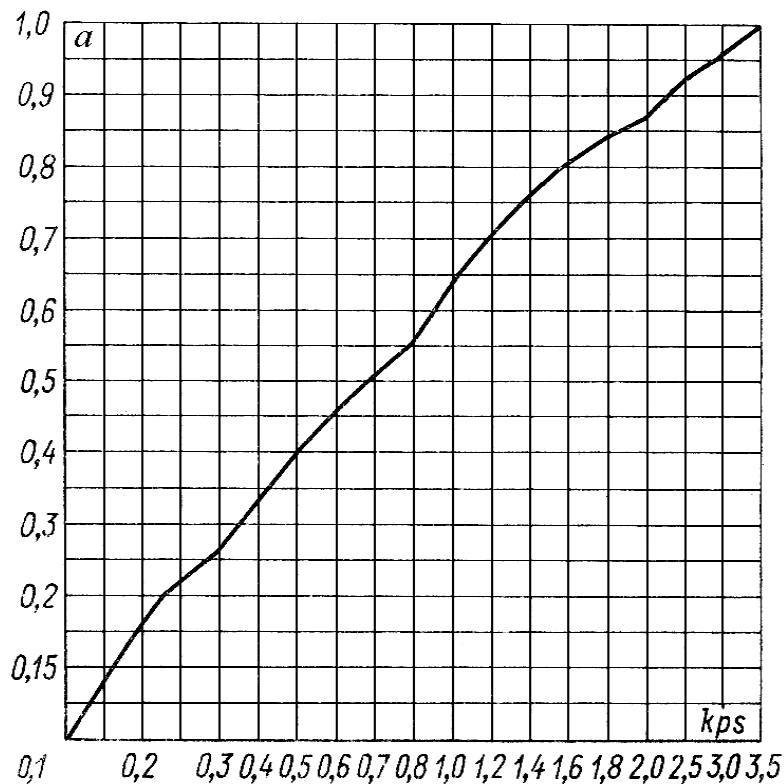


Рис. Б.4. Номограма для визначення ступеня чорноти топкового середовища (факела)

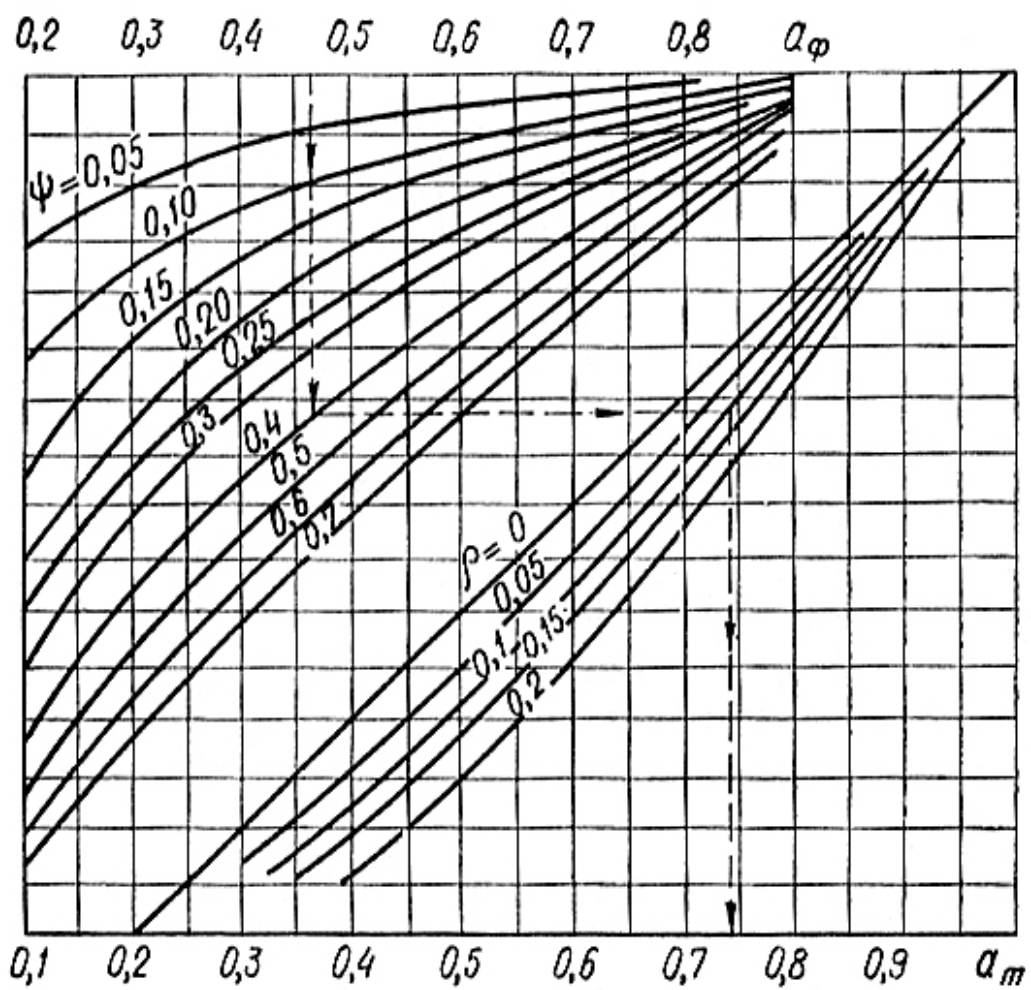


Рис. Б.5. Номограма для визначення ступеня чорноти камерних і шарових топків

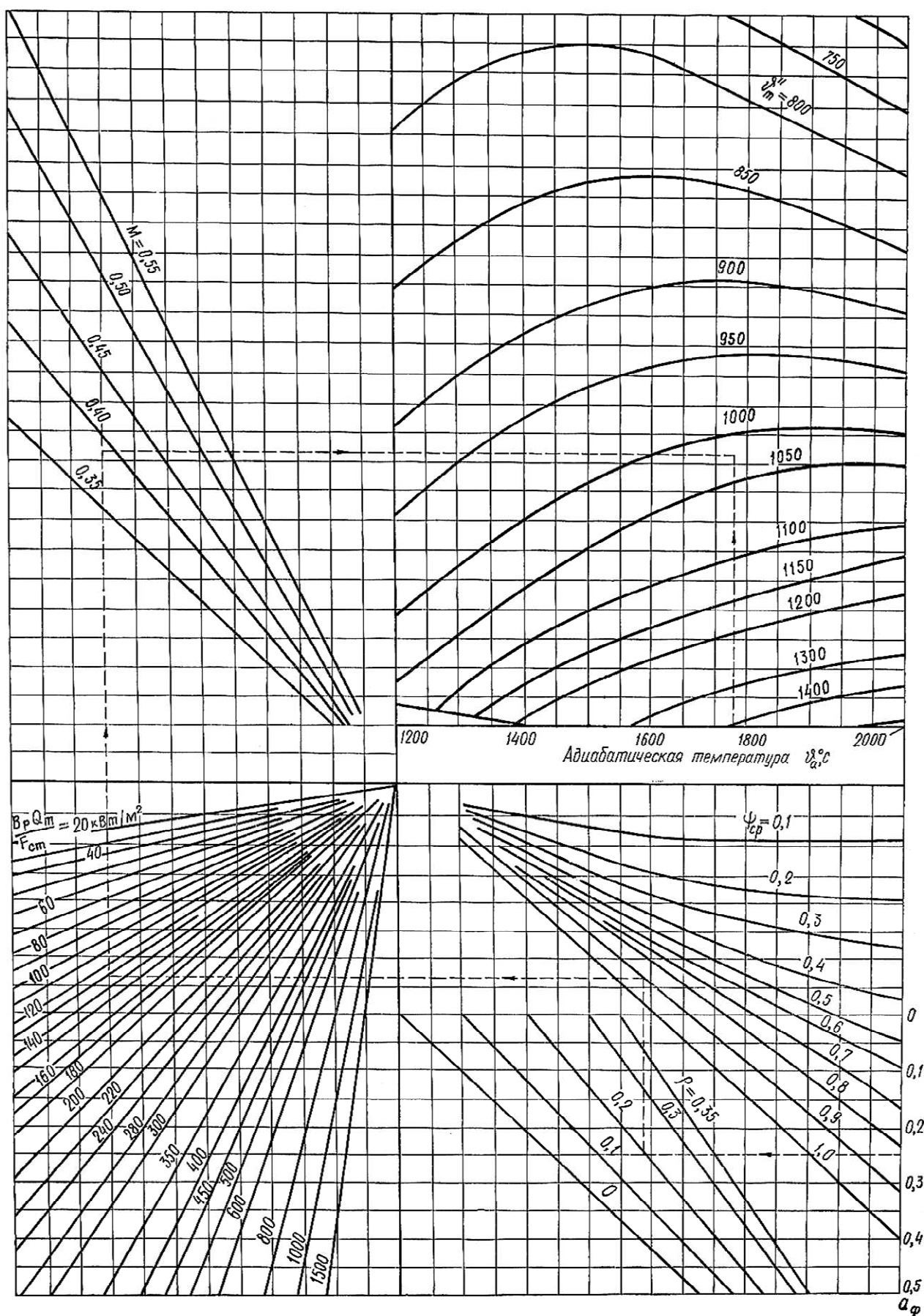


Рис. Б.6. Номограма для визначення температур продуктів згоряння на виході з топки (шарові топки)

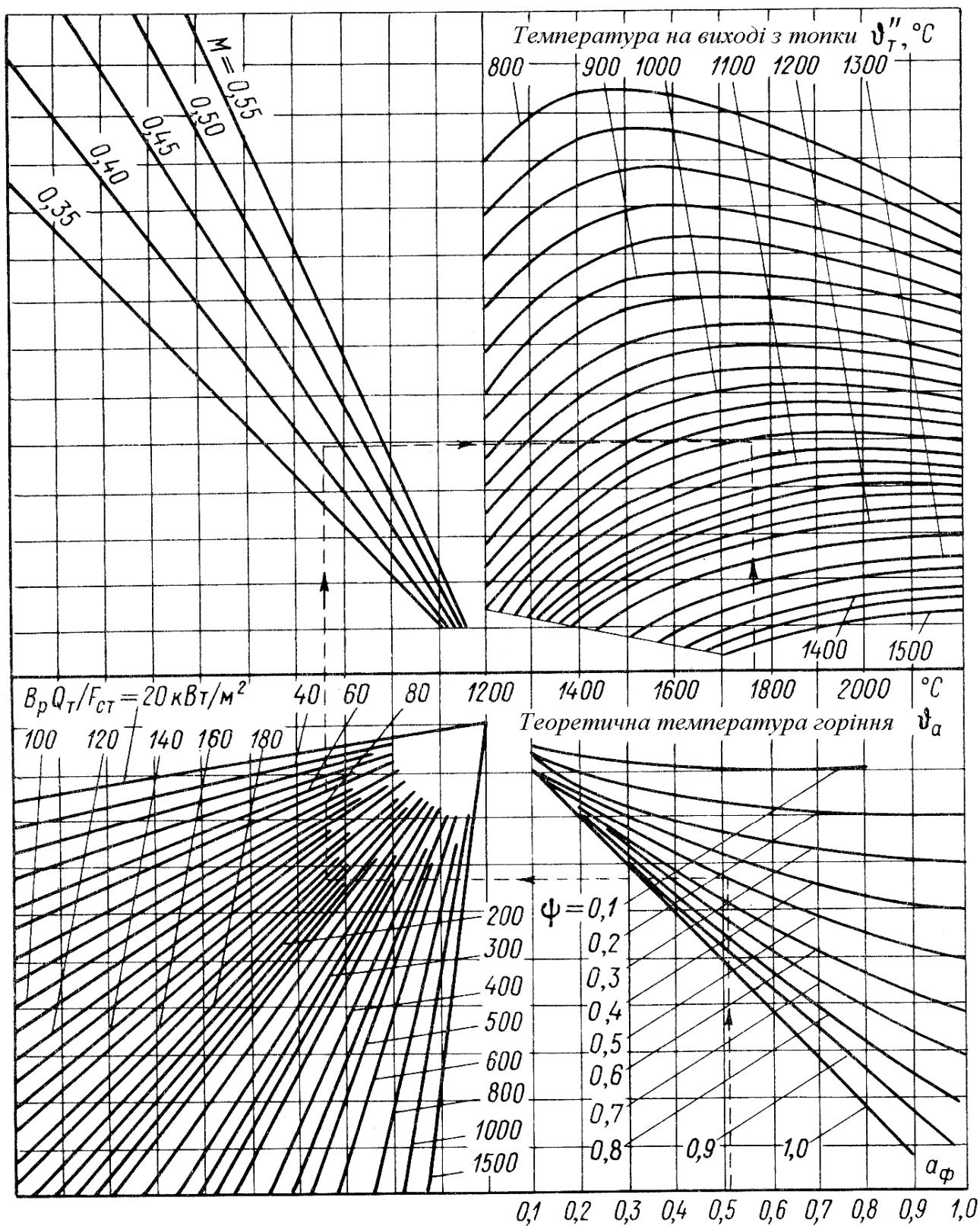


Рис. Б.7. Номограма для визначення температури продуктів згоряння на виході з топки (камерні топки)

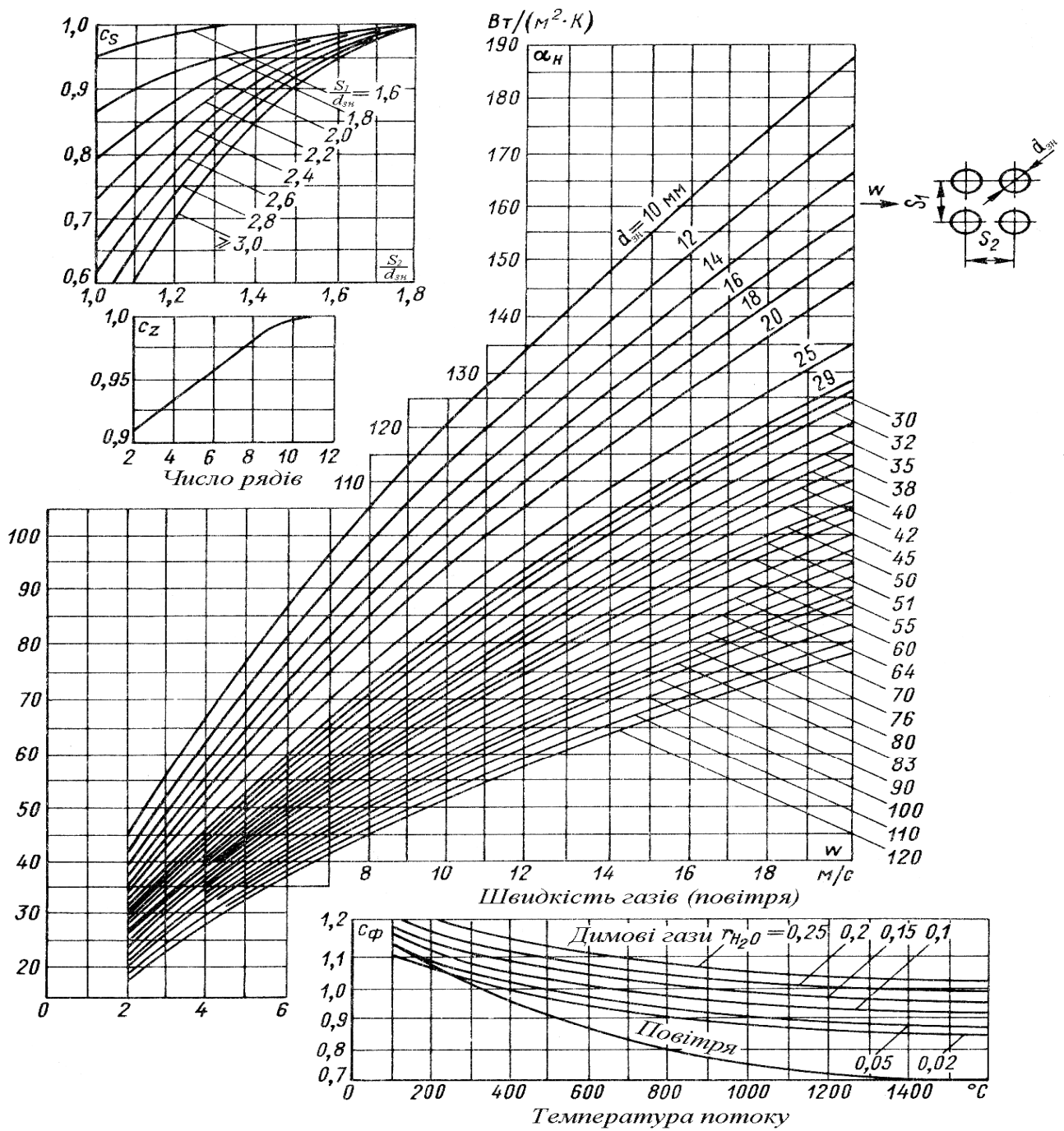


Рис. Б.8. Номограма для визначення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією при поперечному омиванні коридорних гладкотрубних пучків ($\alpha_K = \alpha_H \cdot c_z \cdot c_s \cdot c_\phi$)

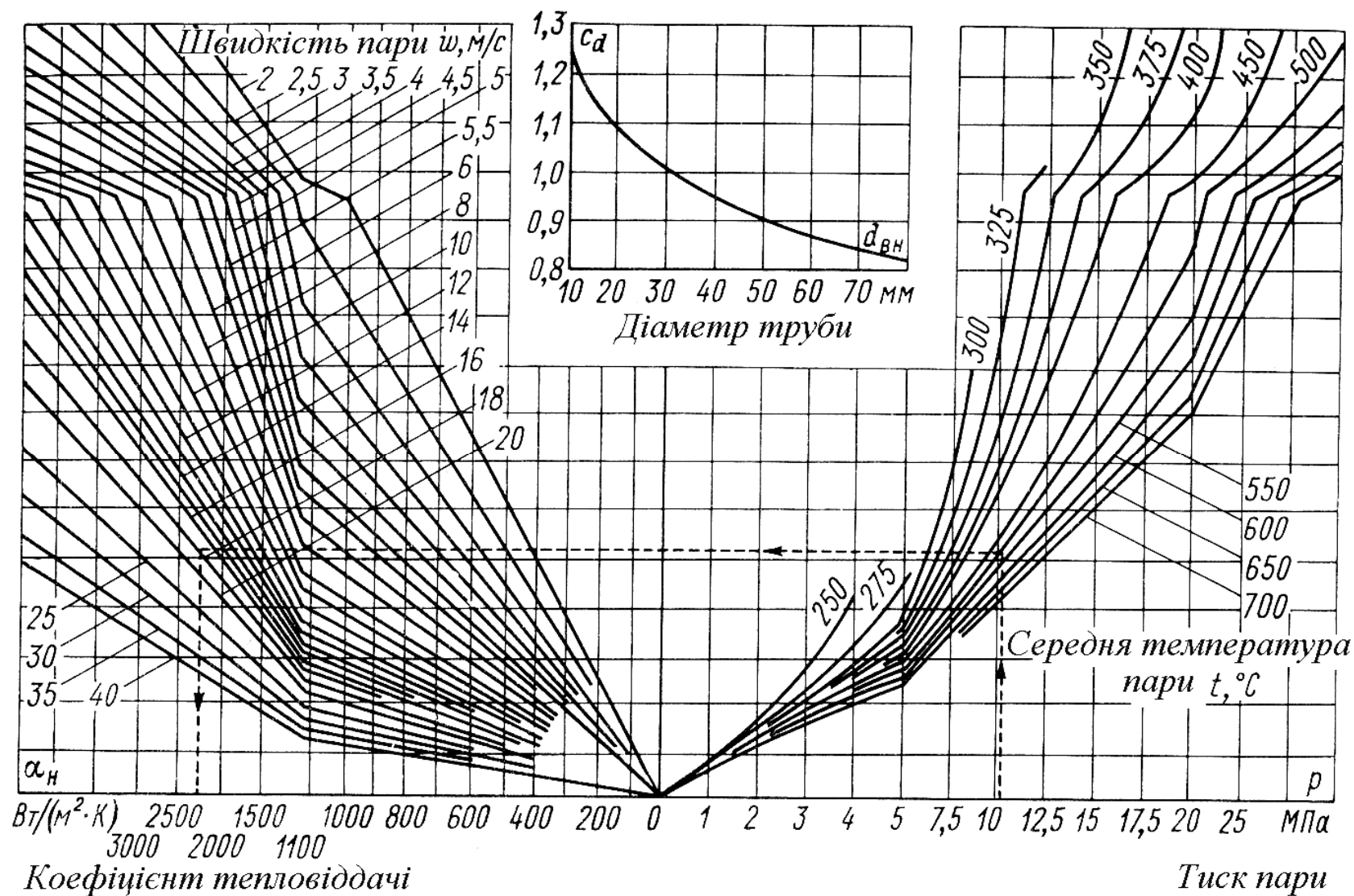


Рис. Б.9. Номограма для визначення коефіцієнта тепловіддачі від стінки до перегрітої пари при поздовжньому омиванні перегрітою парою ($\alpha_2 = \alpha_n \cdot c_d$)

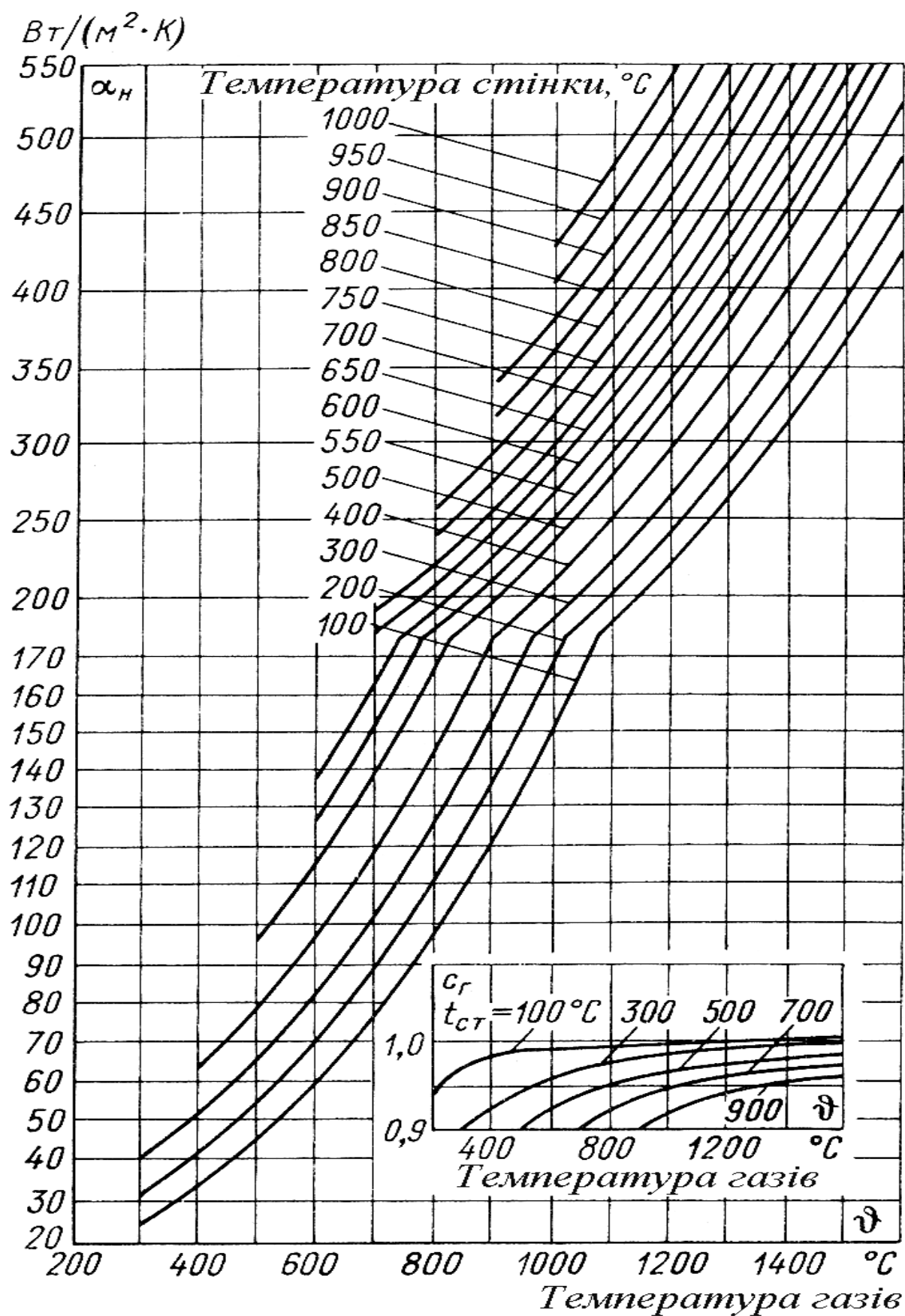


Рис. Б.10. Номограма для визначення коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням: для запиленого потоку $\alpha_{np} = \alpha_n \cdot a$;

для незапиленого потоку $\alpha_{np} = \alpha_n \cdot a \cdot c_r$

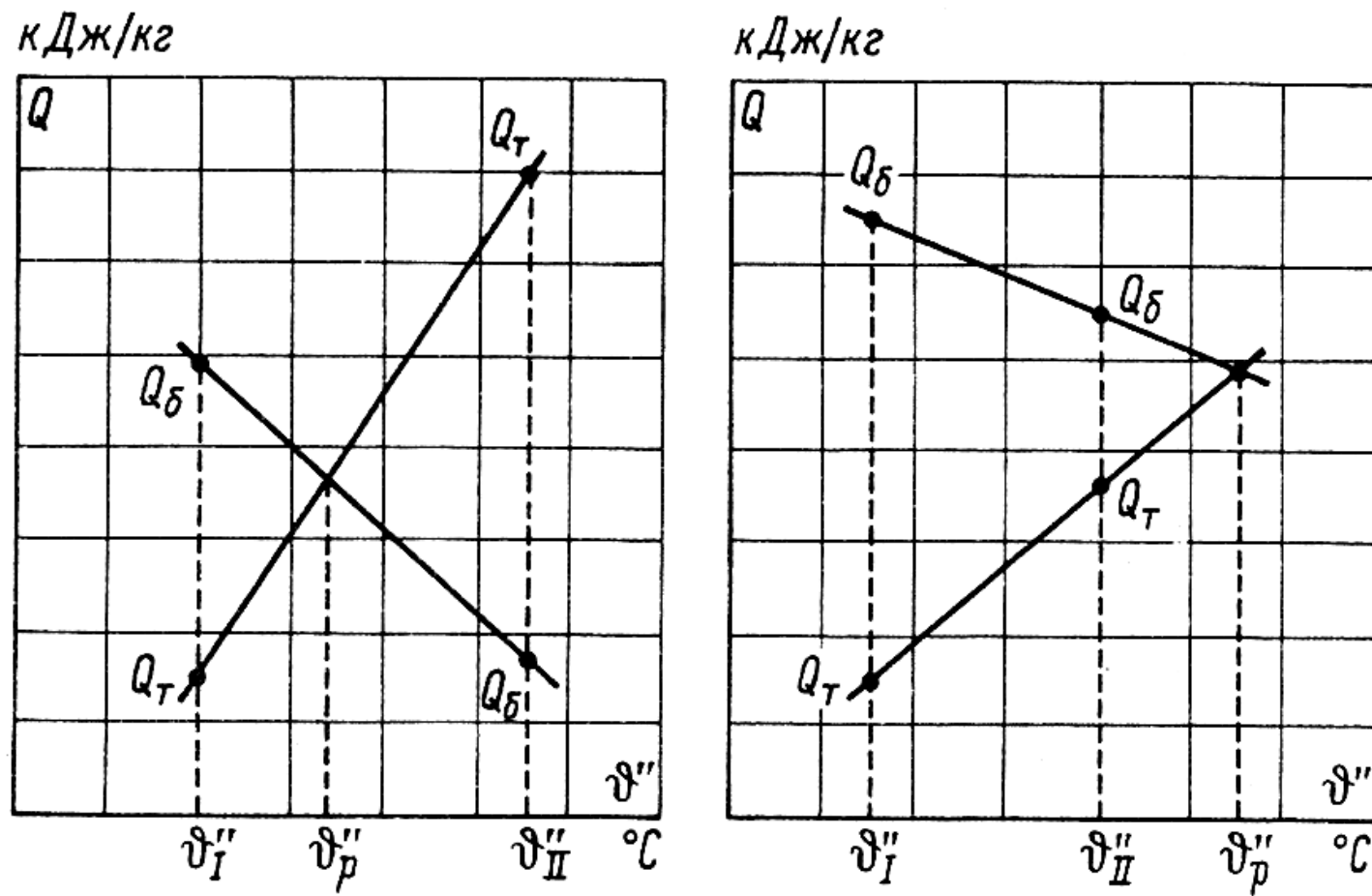


Рис. Б.11. Визначення температури газів графічним способом

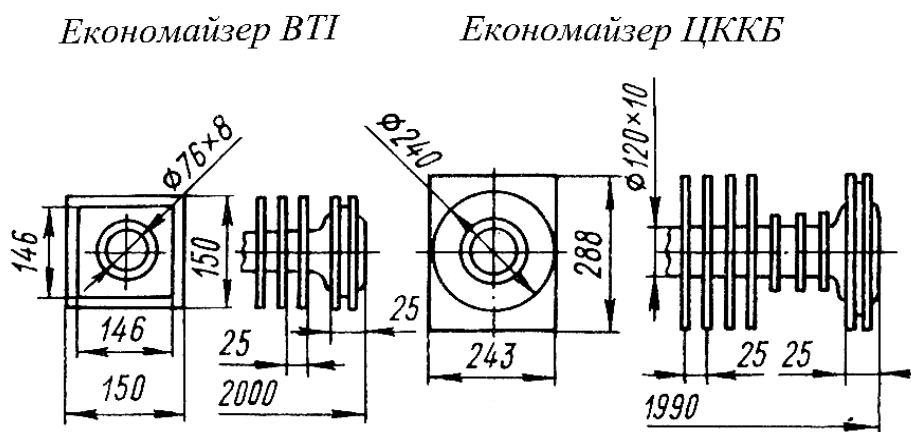
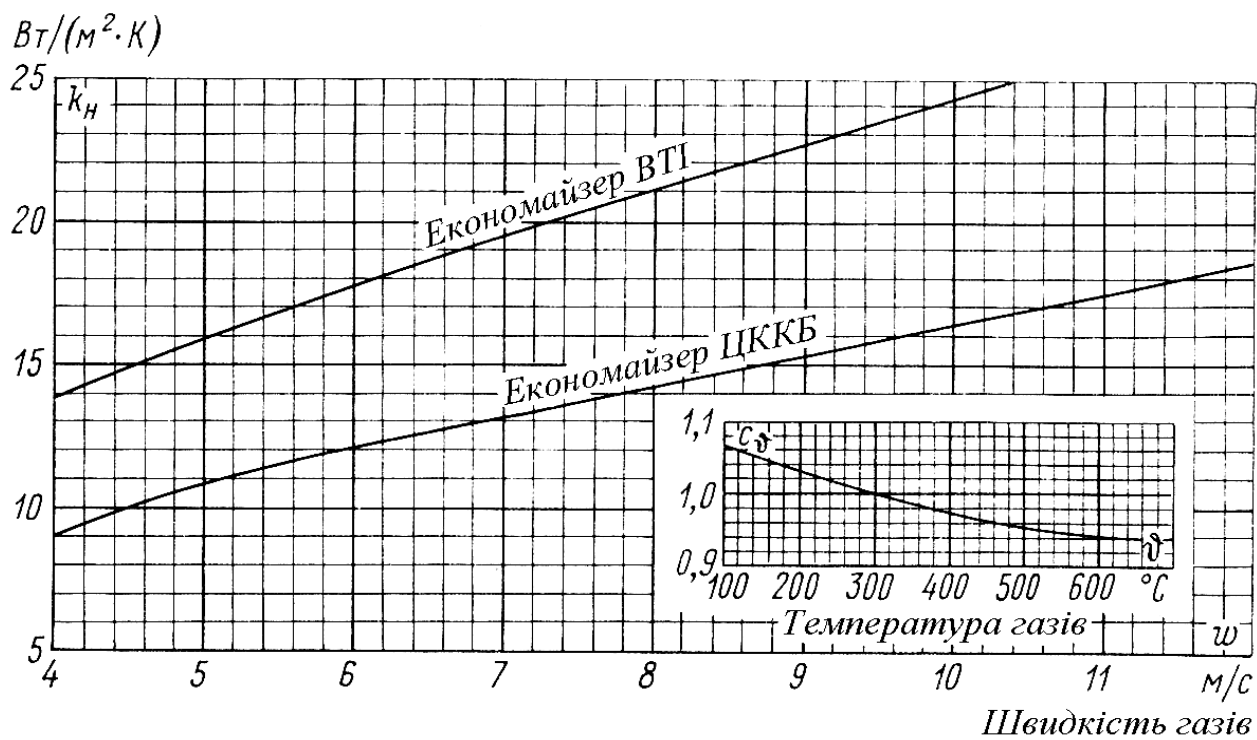


Рис. Б.12. Номограма для визначення коефіцієнта теплопередачі чавунних економайзерів ($K_{ек} = K_H \cdot c_\gamma$)

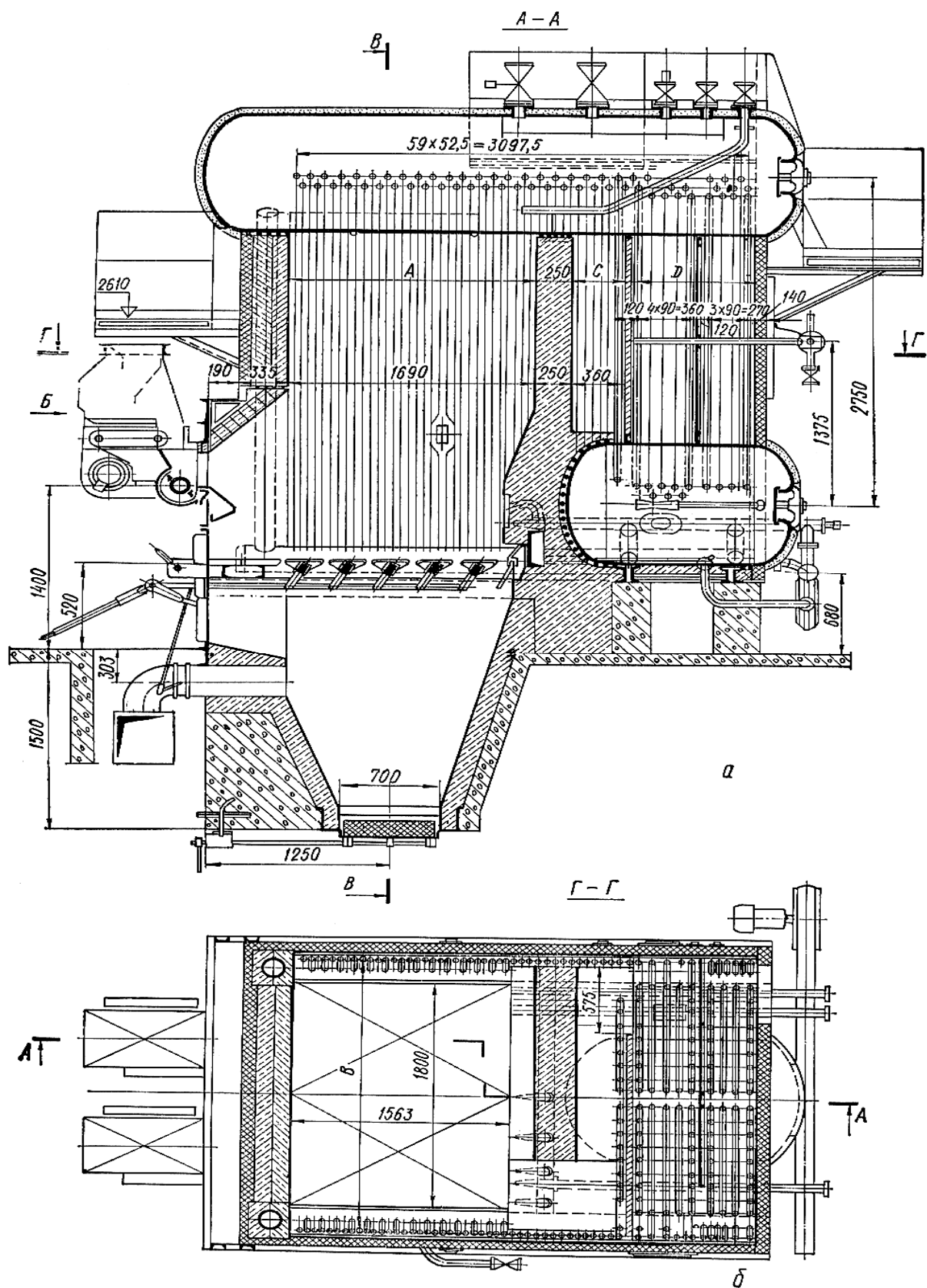


Рис. Б.13. Поздовжній (а) та горизонтальний (б) перерізи парогенератора КЕ - 2,5 - 14

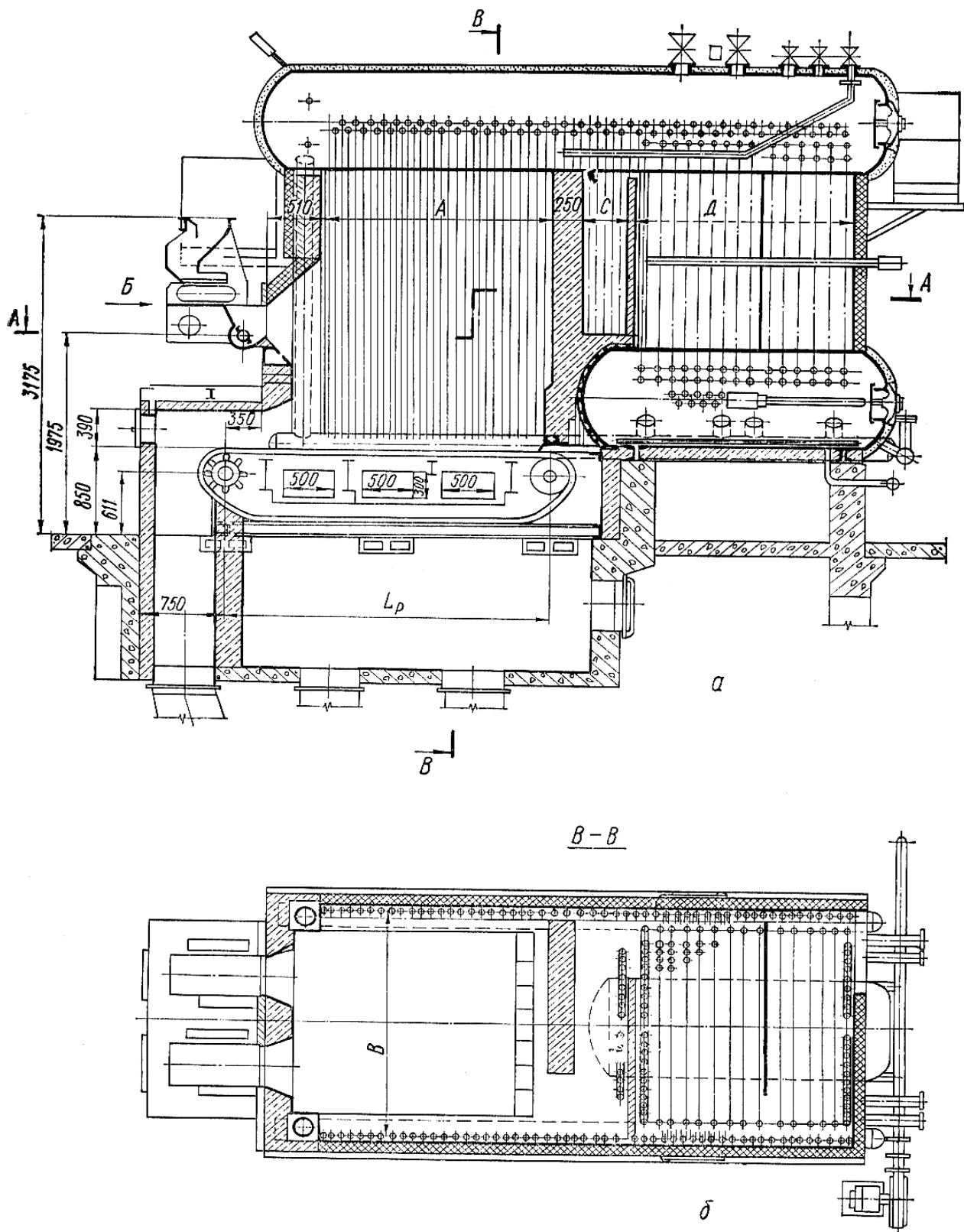


Рис. Б.14. Поздовжній (а) та горизонтальний (б) перерізи парогенераторів КЕ - 4 - 14 та КЕ - 6,5 - 14

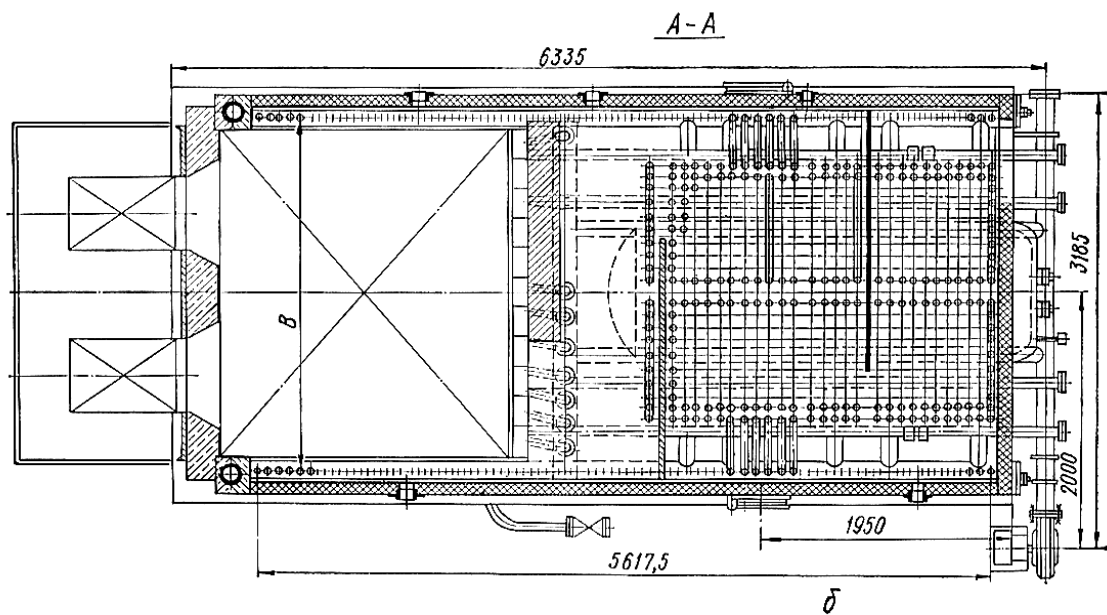
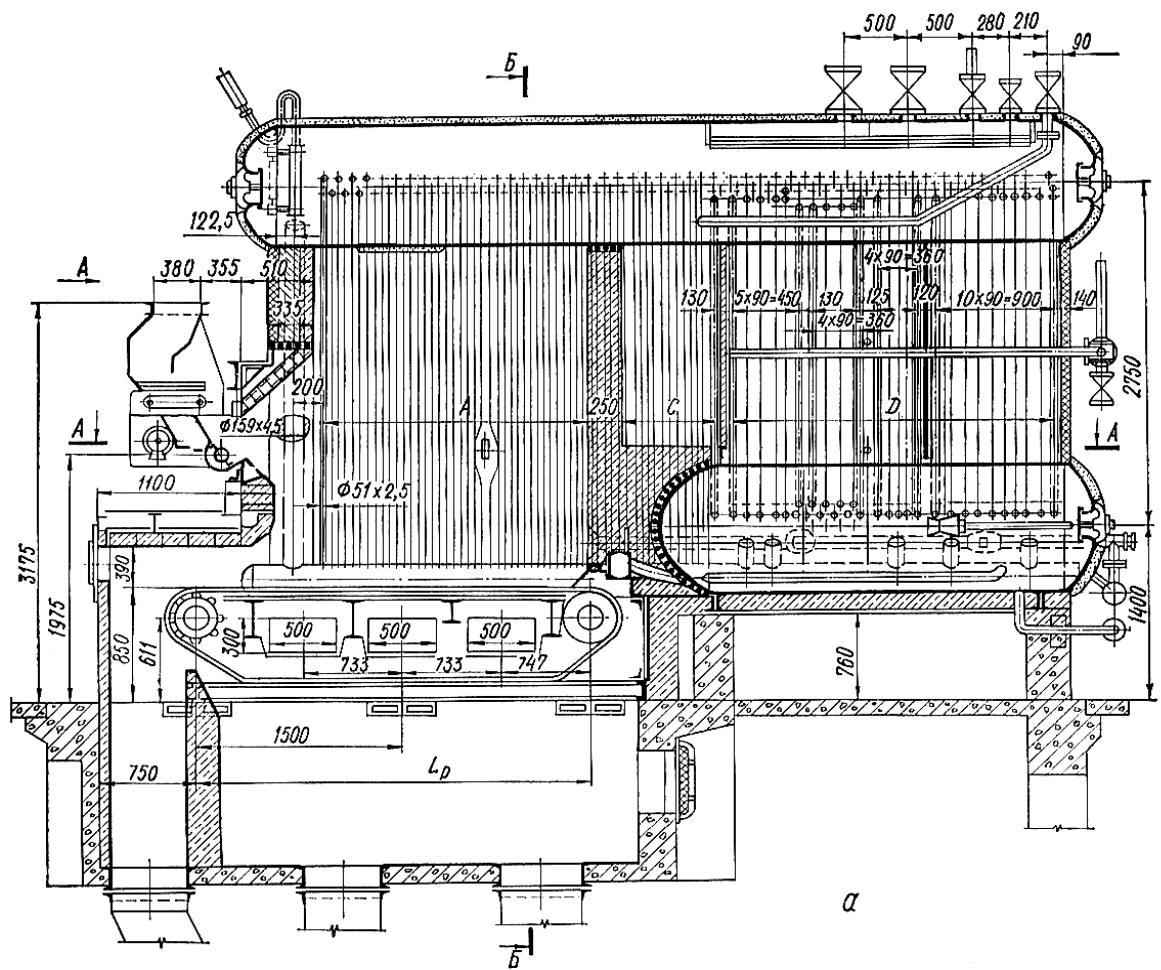


Рис. Б.15. Поздовжній (а) та горизонтальний (б) перерізи парогенератора КЕ – 10 - 14

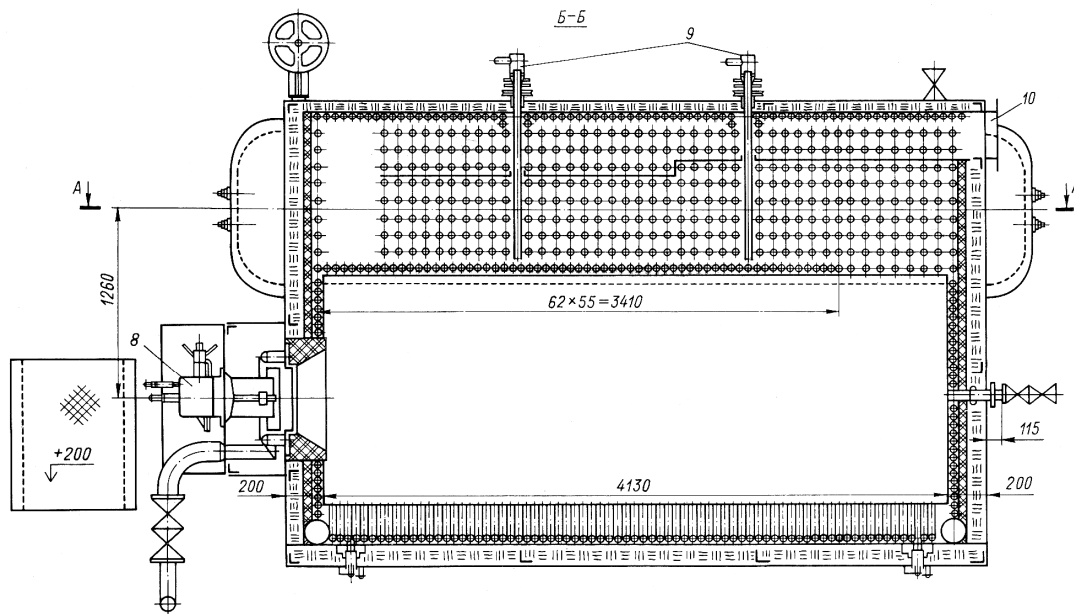
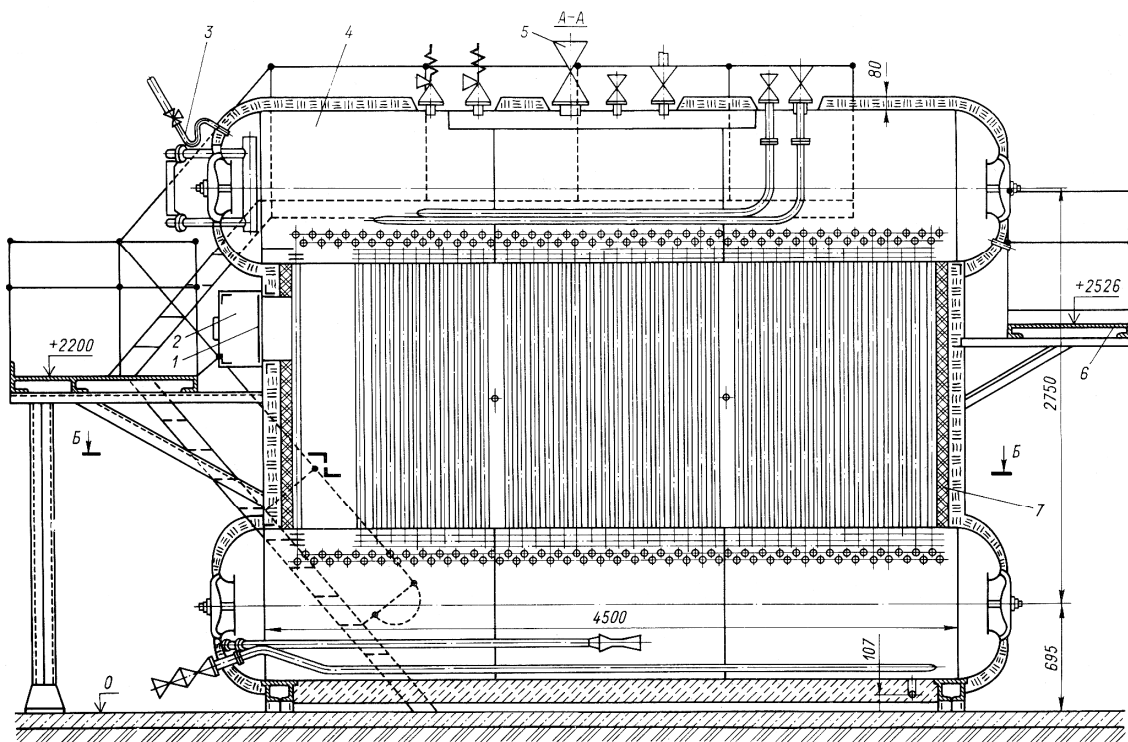


Рис. Б.16. Поздовжній та горизонтальний перерізи парогенератора ДЕ – 10 - 14

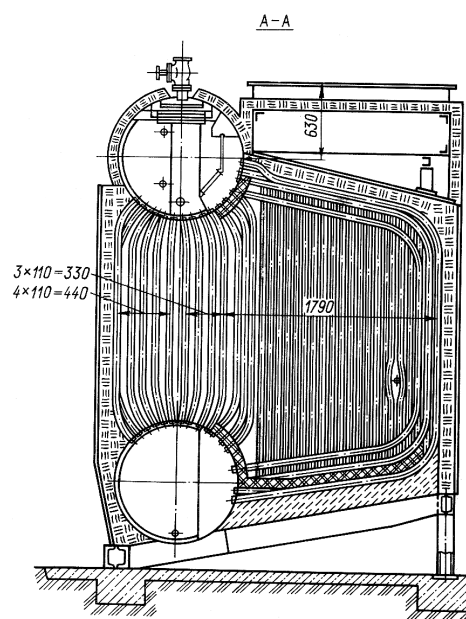
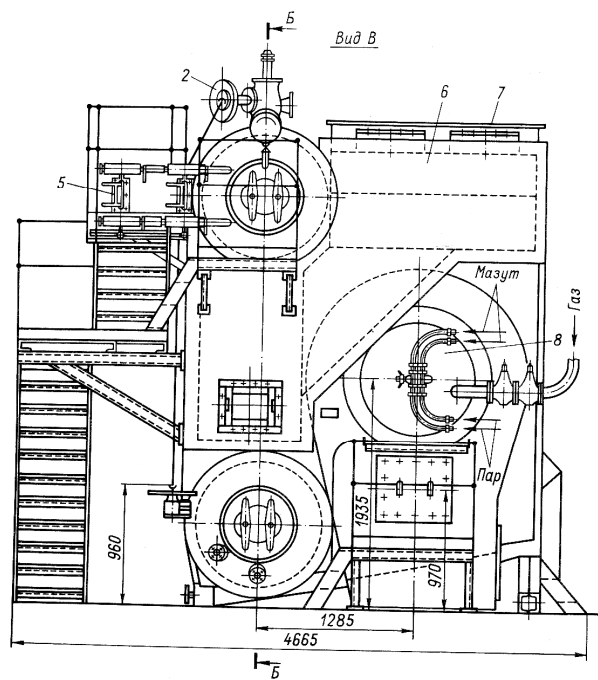
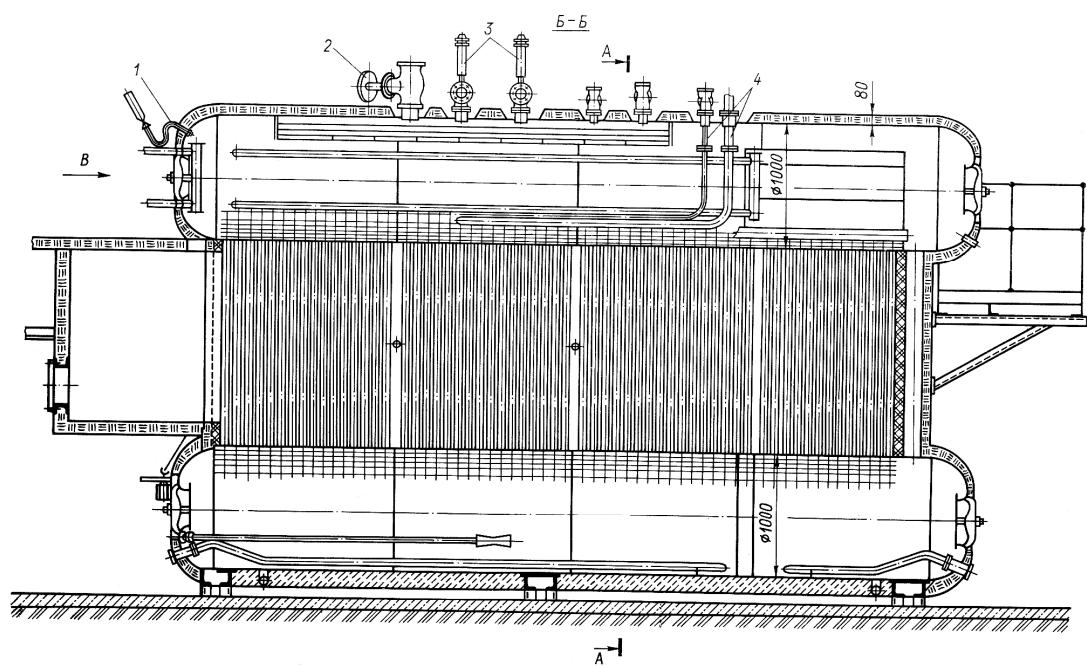


Рис. Б.17. Парогенератор ДЕ – 16 - 14

Навчальне видання

Методичні вказівки
до курсового проектування
з курсу

«ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧІ УСТАНОВКИ»

(для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво»
спеціальності «Теплогазопостачання і вентиляція»)

Укладачі: **Ільченко** Борис Самуїлович,
Котух Володимир Григорович

Відповідальний за випуск *д.т.н., проф. І. І. Капців*

Редактор *К. В. Дюкар*

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2012, поз. 126 М

Підп. до друку 03.12.2012

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 4,6

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.